



Rohstoffstudie NRW und Fact Sheets



Die künftige Rohstoffversorgung der NRW-Industrie und Schritte auf dem Weg zur Kreislaufwirtschaft

November 2021

Rohstoffstudie NRW und Fact Sheets

Die künftige Rohstoffversorgung der NRW-Industrie und Schritte auf dem Weg zur Kreislaufwirtschaft

Diese Studie wurde vom RWI – Leibniz-Institut für Wirtschaftsforschung erstellt. Auftraggeber war das Ministerium für Wirtschaft, Innovation, Digitalisierung und Energie des Landes Nordrhein-Westfalen.

Projektteam 

Dr. Jochen Dehio (Projektleiter), Ronald Janßen-Timmen, Dr. Florian Kirsch, Dr. Michael Rothgang, Philip Schacht, Prof. Dr. Torsten Schmidt

Das Projektteam dankt Dr. Peter Buchholz von der Deutschen Rohstoffagentur (DERA) in der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR) und Prof. Dr. Manuel Frondel, die dem Projektteam beratend zur Seite standen. Unser Dank gilt zudem Sarah Rühl (Grafik), Christiane Brüggemann (Projektassistentin) sowie den studentischen Hilfskräften Martina Böhmel und Ida Zinke für ihre Unterstützung.

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis	5
Tabellenverzeichnis	9
1. Einleitung	11
2. Untersuchungsansatz	15
3. Rohstoffbedarf und -versorgung der NRW-Schlüsselindustrien	17
3.1 Preisschwankungen auf den Rohstoffmärkten vor dem Hintergrund der Rohstoffpreiszyklen	17
3.2 Wirtschaftswachstum und Entwicklung der Rohstoffintensität.....	26
3.3 Entwicklung der Rohstoffimporte sowie Risiken der Importrohstoffe und ihre Relevanz für NRW	32
3.4 Rohstoffbedarf der NRW-Schlüsselindustrien	64
3.5 Förderung und Bedarf heimischer Primärrohstoffe	89
4. Verstärkte Nutzung von Sekundärrohstoffen in den NRW-Schlüsselindustrien	103
4.1 Die <i>Circular Economy</i> und Rohstoffnutzung.....	103
4.2 Modellansätze zur Messung von Rohstoffsubstitution und Sekundärrohstoffeinsatz	105
4.3 Parameter zur Messung von Rohstoffsubstitution und Sekundärrohstoffeinsatz	108
4.4 Substitution, Rezyklierbarkeit und Recyclingpotenzial der für die NRW-Schlüsselindustrien relevanten Rohstoffe	113
4.5 Fallstudie: Recycling von Kunststoffverpackungen	121
4.6 Fallstudie: Recycling von Traktionsbatterien aus Fahrzeugen	131
4.7 Fallstudie: Recycling von Elektronikschrott	139
4.8 Etablierung einer Kreislaufwirtschaft und Sekundärrohstoffe: Lessons Learned.....	148
5. Handlungsoptionen und -empfehlungen	149
5.1 Ebenen politischer Einflussnahme auf die Rohstoffversorgung	149
5.2 Rechtliche Rahmenbedingungen für den Rohstoffbereich	153
5.3 Sicherung der Versorgung mit importierten Rohstoffen	155
5.4 Sicherung einer nachhaltigen Förderung heimischer Rohstoffe.....	159
5.5 Erhöhung des Sekundärrohstoffeinsatzes und Etablierung einer Kreislaufwirtschaft.....	163
5.6 Maßnahmen mit Leuchtturmcharakter im Rohstoffbereich.....	170
5.7 Fazit und Ausblick	172

6. Fact Sheets: Kurzfassungen zentraler Befunde	173
6.1 Fact Sheet: Entwicklung der Preise metallischer Rohstoffe	173
6.2 Fact Sheet: Zusammenhang zwischen Wirtschaftswachstum und Rohstoffeinsatz	175
6.3 Fact Sheet: Rohstoffrisiken für die NRW-Industrie	177
6.4 Fact Sheet: Rohstoffbedarf der NRW-Schlüsselindustrien	179
6.5 Fact Sheet: Förderung und Bedarf heimischer Primärrohstoffe	181
6.6 Fact Sheet: Handel von heimisch geförderten Baurohstoffen	183
6.7 Fact Sheet: Kreislaufwirtschaft und die Rolle von Sekundärrohstoffen	185
6.8 Fact Sheet: Recycling von Kunststoffverpackungen	187
6.9 Fact Sheet: Recycling von Traktionsbatterien aus Fahrzeugen	189
6.10 Fact Sheet: Recycling von Elektro- und Elektronikschrott	191
6.11 Fact Sheet: Recycling von Baurohstoffen	193
6.12 Fact Sheet: Ziele, Optionen und Ansatz der NRW-Rohstoffpolitik	195
6.13 Fact Sheet: Maßnahmen zur Sicherung der Versorgung mit importierten metallischen Primärrohstoffen	197
6.14 Fact Sheet: Maßnahmen zur Sicherung einer nachhaltigen Förderung heimischer Rohstoffe	199
6.15 Fact Sheet: Maßnahmen zur Erhöhung des Sekundärrohstoffeinsatzes	201
6.16 Fact Sheet: Maßnahmen mit Leuchtturmcharakter im Rohstoffbereich	203
Literaturverzeichnis	205
Anhang	213

Abbildungsverzeichnis

Abb. 1.1: Kreislaufzusammenhänge im Rohstoffbereich	11
Abb. 2.1: Analysemodule des Untersuchungsdesigns	15
Abb. 3.1.1: Entwicklung des Rohstoffpreisindex CRB, des Rohölpreises und des Goldpreises	18
Abb. 3.1.2: Entwicklung des IW-Industriemetallpreisindex	19
Abb. 3.1.3: Komponenten der Rohstoffressourcen und -reserven	21
Abb. 3.1.4: Entwicklung nominaler und realer Nickelpreise	21
Abb. 3.1.5: Entwicklung nominaler und realer Zinkpreise	22
Abb. 3.2.1: Beiträge zum Wachstum des Bruttoinlandsprodukts in NRW	26
Abb. 3.2.2: Projektion der Entwicklung des Produktionspotenzials	28
Abb. 3.2.3: Wertschöpfung im Verarbeitenden Gewerbe und bei den Dienstleistungen, in Mrd. €	28
Abb. 3.2.4: Entwicklung des realen Bruttoinlandsprodukts	29
Abb. 3.2.5: Entwicklung der Rohstoffintensität mit und ohne Intrahandel	30
Abb. 3.2.6: Entwicklung der Rohstoffproduktivität mit und ohne Intrahandel	30
Abb. 3.3.1: Importe mineralischer Rohstoffe	32
Abb. 3.3.2: Ausprägungen des Herfindahl-Hirschman-Indexes als Maß für die Konzentration der Förderländer	34
Abb. 3.3.3: Risiko der Importrohstoffe	35
Abb. 3.3.4: Periodensystem der Elemente	37
Abb. 3.3.5: Einfuhr der Seltenerdenmetalle nach Deutschland	39
Abb. 3.3.6: Einfuhr der Seltenerdenmetalle nach NRW	39
Abb. 3.3.7: Einfuhr von Lithium nach Deutschland	41
Abb. 3.3.8: Einfuhr von Lithium nach NRW	41
Abb. 3.3.9: Einfuhr von Kobalt nach Deutschland	41
Abb. 3.3.10: Einfuhr von Kobalt nach NRW	41
Abb. 3.3.11: Einfuhr von Mangan nach Deutschland	41
Abb. 3.3.12: Einfuhr von Mangan nach NRW	41
Abb. 3.3.13: Einfuhr von Nickel nach Deutschland	42
Abb. 3.3.14: Einfuhr von Nickel nach NRW	42
Abb. 3.3.15: Einfuhr von Graphit nach Deutschland	42
Abb. 3.3.16: Einfuhr von Graphit nach NRW	42
Abb. 3.3.17: Einfuhr von Aluminium nach Deutschland	44
Abb. 3.3.18: Einfuhr von Aluminium nach NRW	44
Abb. 3.3.19: Einfuhr von Blei nach Deutschland	44
Abb. 3.3.20: Einfuhr von Blei nach NRW	44
Abb. 3.3.21: Einfuhr von Kupfer nach Deutschland	44
Abb. 3.3.22: Einfuhr von Kupfer nach NRW	44
Abb. 3.3.23: Einfuhr von Titan nach Deutschland	45
Abb. 3.3.24: Einfuhr von Titan nach NRW	45
Abb. 3.3.25: Einfuhr von Zink nach Deutschland	45

Abb. 3.3.26: Einfuhr von Zink nach NRW	45
Abb. 3.3.27: Einfuhr von Eisenerz nach Deutschland.....	45
Abb. 3.3.28: Einfuhr von Eisenerz nach NRW	45
Abb. 3.3.29: Einfuhr von Gold nach Deutschland	47
Abb. 3.3.30: Einfuhr von Gold nach NRW	47
Abb. 3.3.31: Einfuhr von Silber nach Deutschland.....	48
Abb. 3.3.32: Einfuhr von Silber nach NRW	48
Abb. 3.3.33: Einfuhr von Platin nach Deutschland.....	49
Abb. 3.3.34: Einfuhr von Platin nach NRW	49
Abb. 3.3.35: Einfuhr von Palladium nach Deutschland	49
Abb. 3.3.36: Einfuhr von Palladium nach NRW	50
Abb. 3.3.37: Einfuhr von Rhodium nach Deutschland	50
Abb. 3.3.38: Einfuhr von Rhodium nach NRW.....	50
Abb. 3.3.39: Einfuhr von Germanium nach Deutschland	51
Abb. 3.3.40: Einfuhr von Germanium nach NRW	51
Abb. 3.3.41: Einfuhr von Silizium nach Deutschland	52
Abb. 3.3.42: Einfuhr von Silizium nach NRW.....	52
Abb. 3.3.43: Einfuhr von Zinn nach Deutschland.....	52
Abb. 3.3.44: Einfuhr von Zinn nach NRW	52
Abb. 3.3.45: Einfuhr von Gallium nach Deutschland.....	53
Abb. 3.3.46: Einfuhr von Gallium nach NRW	53
Abb. 3.3.47: Einfuhr von Indium nach Deutschland	53
Abb. 3.3.48: Einfuhr von Indium nach NRW	54
Abb. 3.3.49: Einfuhr von Tantal nach Deutschland.....	55
Abb. 3.3.50: Einfuhr von Tantal nach NRW	55
Abb. 3.3.51: Einfuhr von Vanadium nach Deutschland.....	55
Abb. 3.3.52: Einfuhr von Vanadium nach NRW	56
Abb. 3.3.53: Einfuhr von Chrom nach Deutschland	57
Abb. 3.3.54: Einfuhr von Chrom nach NRW	57
Abb. 3.3.55: Einfuhr von Molybdän nach Deutschland	58
Abb. 3.3.56: Einfuhr von Molybdän nach NRW	58
Abb. 3.3.57: Einfuhr von Wolfram nach Deutschland	58
Abb. 3.3.58: Einfuhr von Wolfram nach NRW.....	58
Abb. 3.3.59: Einfuhr von Antimon nach Deutschland.....	59
Abb. 3.3.60: Einfuhr von Antimon nach NRW	59
Abb. 3.3.61: Einfuhr von Magnesium nach Deutschland	60
Abb. 3.3.62: Einfuhr von Magnesium nach NRW	60
Abb. 3.3.63: Anteile von NRW an den Werten der Einfuhren risikobehafteter Rohstoffe nach Deutschland im Jahr 2019	63
Abb. 3.4.1: Umsatzanteile der Schlüsselindustrien am Verarbeitenden Gewerbe im Jahr 2016	66
Abb. 3.4.2: Entwicklung der Automobilindustrie.....	67

Abb. 3.4.3: Entwicklung der Chemischen Industrie.....	69
Abb. 3.4.4: Entwicklung der Elektronik- und Elektroindustrie.....	71
Abb. 3.4.5: Entwicklung des Maschinenbaus	72
Abb. 3.4.6: Entwicklung der Metallindustrie	73
Abb. 3.4.7: Entwicklung der Kunststoffindustrie.....	74
Abb. 3.4.8: Risikobehaftete Importrohstoffe und deren Einsatz in den NRW-Schlüsselindustrien.....	77
Abb. 3.4.9: Zuordnung der Zukunftstechnologien zu den NRW-Schlüsselindustrien.....	78
Abb. 3.4.10: Zuordnung der Zukunftstechnologien zu Rohstoffen mit hohem Risiko	79
Abb. 3.4.11: Zuordnung der Zukunftstechnologien zu Rohstoffen mit mittlerem Risiko.....	80
Abb. 3.4.12: Zahl der Nennungen der risikobehafteten Rohstoffe für Zukunftstechnologien in den Schlüsselindustrien	82
Abb. 3.5.1: Förderung mineralischer Rohstoffe in Deutschland und in NRW	90
Abb. 3.5.2: Regionalplanungsgebiete in NRW.....	91
Abb. 3.5.3: Vorkommen der Lockergesteine Kies und Kiessand in NRW	93
Abb. 3.5.4: Vorkommen des Lockergesteins Sand in NRW.....	94
Abb. 3.5.5: Vorkommen der Lockergesteine Ton und Schluff in NRW	94
Abb. 3.5.6: Vorkommen der Festgesteine in NRW	95
Abb. 3.5.7: Produktionswerte der in Deutschland und NRW geförderten Rohstoffe, in Mrd. €.....	96
Abb. 3.5.8: Ausfuhren von NRW bei Steine und Erden	96
Abb. 3.5.9: Einfuhren von NRW bei Steine und Erden	96
Abb. 3.5.10: Entwicklung der Bauindustrie	99
Abb. 4.1.1: Vereinfachte Modellvorstellung einer Circular Economy bei der Rohstoffversorgung	103
Abb. 4.2.1: Charakteristika unterschiedlicher Modellansätze zur Erfassung des Sekundärrohstoffeinsatzes	105
Abb. 4.2.2: Relevante Stoffströme zur Abbildung des Sekundärrohstoffeinsatzes der Schlüsselindustrien in NRW	106
Abb. 4.3.1: Begriffe und Definitionen im Zusammenhang mit Circular Economy und Recycling	108
Abb. 4.3.2: Definition und Abkürzung von Indikatoren im Zusammenhang mit Recycling	110
Abb. 4.4.1: Substituierbarkeit, Recycling und Recyclingpotenzial der Rohstoffe	114
Abb. 4.4.2: Bewertung der Substituierbarkeit von Rohstoffen mit hohem Risiko	115
Abb. 4.4.3: Bewertung der Substituierbarkeit von Rohstoffen mit mittlerem Risiko	116
Abb. 4.4.4: Bewertung des Recyclings von Rohstoffen mit hohem Risiko.....	117
Abb. 4.4.5: Bewertung des Recyclings von Rohstoffen mit mittlerem Risiko	118
Abb. 4.4.6: Bewertung des Recyclingpotenzials von risikobehafteten Rohstoffen.....	119
Abb. 4.4.7: Bewertung des Recyclingpotenzials von Rohstoffen mit mittlerem Risiko.....	120
Abb. 4.5.1: Entwicklung des Kunststoffrecyclings in Deutschland	122
Abb. 4.5.2: Entwicklung von Technologien und Märkten im Zeitverlauf.....	122
Abb. 4.5.3: Gesamtsystem des Kunststoffrecyclings im Rahmen des Dualen Systems	124
Abb. 4.5.4: Künftige Neuerungen und Erweiterungen im VerpackG ab 2022	127
Abb. 4.5.5: Recyclingaktivitäten: Unternehmen und Projekte	129
Abb. 4.5.6: Entwicklungen im Kunststoffrecycling für Verpackungen und Weg hin zur Kreislaufwirtschaft	130
Abb. 4.6.1: Rechtliche Regelungen für das Recycling von Batterien	132
Abb. 4.6.2: Kreislauf des Batterierecyclings	133

Abb. 4.6.3: Prozess des Recyclings von Lithium-Ionen-Batterien	134
Abb. 4.6.4: Entwicklungen im Recycling von Traktionsbatterien und Weg hin zur Kreislaufwirtschaft.....	138
Abb. 4.7.1: Einteilung von Elektronikschrott nach Produktkategorien.....	139
Abb. 4.7.2: Zentrale Inhaltsstoffe von Elektroschrott	140
Abb. 4.7.3: Entwicklungen der relevanten Regulierungen im Bereich der Elektroaltgeräte	141
Abb. 4.7.4: Gesamtsystem des Elektronikschrottrecyclings	142
Abb. 4.7.5: Basisszenario	144
Abb. 4.7.6: Regulierungsszenario.....	145
Abb. 4.7.7: Nachhaltigkeitsszenario.....	146
Abb. 4.7.8: Entwicklungen im Recycling von Elektronikschrott und Weg hin zur Kreislaufwirtschaft	147
Abb. 6.1.1: Entwicklung des Industriemetallpreisindexes	173
Abb. 6.1.2: Entwicklung der nominalen und realen Nickelpreise seit Anfang der 1960er-Jahre	174
Abb. 6.2.1: Projektion der Entwicklung des Produktionspotenzials in NRW	175
Abb. 6.2.2: Entwicklung der Wertschöpfung in NRW, in Mrd. €.....	175
Abb. 6.2.3: Entwicklung der Rohstoffintensität	176
Abb. 6.3.1: Risikofaktoren der Importrohstoffe	177
Abb. 6.3.2: Anteile von NRW am Wert der Einfuhren kritischer Rohstoffe nach Deutschland	178
Abb. 6.3.3: Einfuhranteile von Seltenerdenmetallen nach NRW.....	178
Abb. 6.5.1: Förderung mineralischer Rohstoffe in Deutschland und NRW	181
Abb. 6.5.2: Produktionswerte der in Deutschland und NRW geförderten Rohstoffe, in Mrd. €	182
Abb. 6.5.3: Entwicklung der Bauindustrie	182
Abb. 6.6.1: Einfuhren von NRW bei Steine und Erden	183
Abb. 6.6.2: Ausfuhren von NRW bei Steine und Erden	183
Abb. 6.7.1: Relevante Stoffströme zur Abbildung des Sekundärrohstoffeinsatzes der Schlüsselindustrien in NRW	185
Abb. 6.7.2: Substituierbarkeit, Recycling und Recyclingpotenzial der Rohstoffe mit hohem Risiko.....	186
Abb. 6.8.1: Entwicklung des Recyclings von Kunststoffverpackungen in Deutschland	187
Abb. 6.8.2: Entwicklungen im Kunststoffrecycling für Verpackungen und Weg zur Kreislaufwirtschaft	188
Abb. 6.9.1: Entwicklungen im Recycling von Traktionsbatterien und Weg hin zur Kreislaufwirtschaft.....	190
Abb. 6.10.1: Einteilung von Elektronikschrott nach Produktkategorien.....	191
Abb. 6.10.2: Entwicklungen im Recycling von Elektronikschrott und Weg hin zur Kreislaufwirtschaft	192
Abb. 6.11.1: Bedarf an Baurohstoffen im Jahr 2018	193
Abb. A.1: Liste der ausgewerteten Warennummern der Außenhandelsstatistik nach Rohstoffen	213

Tabellenverzeichnis

Tab.3.3.1: Bergwerksförderung, statistische Reichweite und Konzentration der Förderländer im Jahr 2018	33
Tab. 3.3.2: Einfuhrwerte und -mengen der risikobehafteten Rohstoffe für Deutschland und NRW im Jahr 2019.....	62
Tab. 3.4.1: Struktur der NRW-Schlüsselindustrien im Vergleich zu Deutschland	65
Tab. 3.4.2: Vorleistungslieferungen der Schlüsselindustrien aus inländischer Produktion und Importen	75
Tab. 3.4.3: Vorleistungsbezug der Schlüsselindustrien aus inländischer Produktion und Importen	75
Tab. 3.4.4: Zahl der Nennungen der risikobehafteten Rohstoffe für Zukunftstechnologien in den Schlüsselindustrien.....	81
Tab. 3.5.1: Rangordnung der Förderländer mineralischer Rohstoffe im weltweiten Vergleich	89
Tab. 3.5.2: Flächeninanspruchnahme und Rohstoffjahresförderung in den Regionalplanungsgebieten in NRW ¹	92
Tab. 4.5.1: Recyclingquoten laut Verpackungsverordnung und Verpackungsgesetz (bezogen auf die Lizenzmenge)	126
Tab. 4.6.1: Zusammensetzung einer Batterie auf Basis einer Lithium-Nickel-Cobalt-Mangan-Verbindung (Ni-NMC).....	131
Tab. 4.6.2: Basisszenario: Anfallen und Recycling von Lithium-Ionen-Batterien in der EU, 2020 bis 2050.....	136
Tab. 4.6.3: Szenario erhöhte Geschwindigkeit der Verbreitung der Elektromobilität	136
Tab. 6.4.1: Struktur der NRW-Schlüsselindustrien im Vergleich zu Deutschland	179
Tab. 6.4.2: Zahl der Nennungen der Rohstoffe mit hohem Risiko für Zukunftstechnologien in den NRW-Schlüsselindustrien	180
Tab. 6.9.1: Anfallen und Recycling von Lithium-Ionen-Batterien in der EU, 2025 bis 2050	189

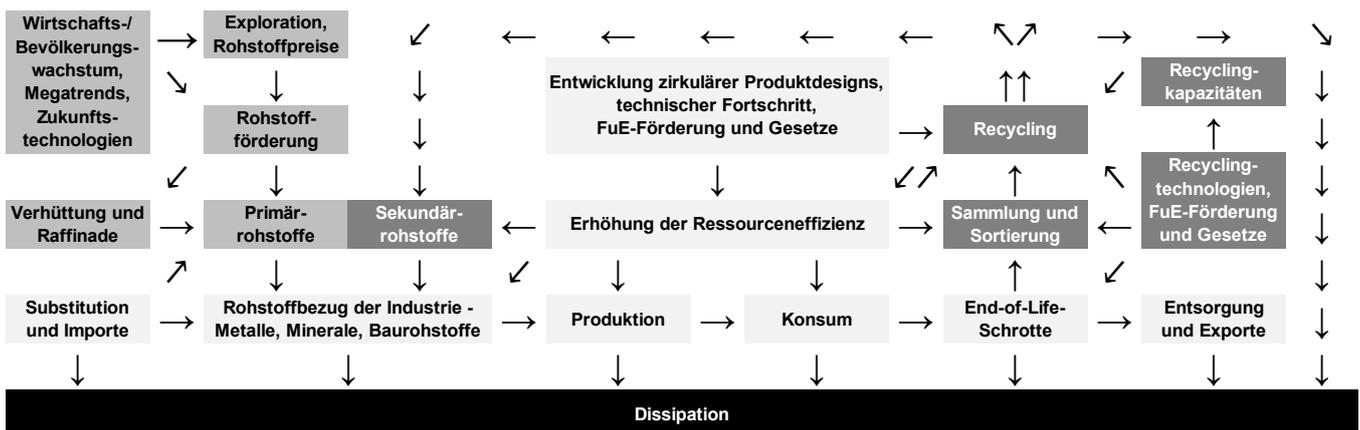
1. Einleitung

Die vorliegende Studie behandelt ausschließlich die nicht-energetischen, nicht-biotischen mineralischen Rohstoffe. Im Mittelpunkt stehen dabei die Rohstoffversorgung der NRW-Industrie mit Importrohstoffen und Überlegungen zum verstärkten Einsatz von Sekundärrohstoffen, betrachtet werden darüber hinaus aber auch die heimisch geförderten Rohstoffe.

Die Rohstoffbedarfe und die Rohstoffversorgung werden dabei nach den –zum Teil in einer tiefgehenden Transformation befindlichen – NRW-Schlüsselindustrien differenziert und bis 2035 betrachtet, um die bis dahin zu erwartenden Veränderungen in Bezug auf den Primär- und Sekundärrohstoffeinsatz einzuschätzen. In dem Zusammenhang erfolgt auch eine Einschätzung der zu erwartenden Umsetzung der *Circular Economy* (Kreislaufwirtschaft) in NRW. Auf dieser Grundlage werden schließlich die Handlungsempfehlungen abgeleitet.

In Abb. 1.1 sind die Kreislaufzusammenhänge in Bezug auf die Primär- und Sekundärrohstoffe sowie die Produktionsprozesse skizziert. Dabei werden verschiedene Stellen ersichtlich, an denen das Kreislaufsystem weiter optimiert werden kann und muss. Daraus ergeben sich auch die Anknüpfungspunkte, an denen Industrie, Wissenschaft und Politik künftig ansetzen müssen, um die Technologienentwicklung sowie die Produktions-, Konsum- und Recyclingprozesse in Richtung einer stärkeren Umsetzung der Kreislaufwirtschaft zu verändern. Dadurch könnte perspektivisch die Abhängigkeit von Rohstoffimporten verringert, die Ressourceneffizienz erhöht und ein nachhaltigeres Wirtschaftssystem etabliert werden.

Abb. 1.1: Kreislaufzusammenhänge im Rohstoffbereich



Eigene Darstellung. – hellgrau = Produktkreislauf; mittelgrau = Primärrohstoffkreislauf; dunkelgrau = Sekundärrohstoffkreislauf.

Zunächst einmal ist der **Primärrohstoffkreislauf** zu betrachten (in der Abbildung auf der linken Seite mittelgrau markiert). Die Rohstoffe werden in Bergwerken oder an Abgrabungsstellen gefördert und entweder direkt von der Industrie nachgefragt und eingesetzt oder zunächst verhüttet oder raffiniert, bevor sie in die weiteren Produktionsprozesse eingehen. Sowohl das Rohstoffangebot als auch die Rohstoffnachfrage unterliegen dabei laufenden Veränderungen, die in häufig stark schwankenden Rohstoffpreisen zum Ausdruck kommen. Auf das Rohstoffangebot wirkt sich insbesondere die Höhe der Explorationsausgaben aus, die bei steigenden Rohstoffpreisen entsprechend erhöht werden (die statistischen Zusammenhänge sind sehr eng und gut belegt). Die Nachfrage wiederum wird zum einen durch das weltweite Wirtschafts- und Bevölkerungswachstum stimuliert, zum anderen aber auch durch technologische Megatrends wie etwa der Elektrifizierung der Antriebe oder der Dekarbonisierung der Wirtschaft und der damit

einhergehenden Etablierung von Zukunftstechnologien. Insbesondere die Nachfrage nach den für diese Technologien essenziellen Primärrohstoffen wird zunächst weiter steigen.

Als zweites ist der **Produktkreislauf** zu betrachten (hellgrau markiert). Am Anfang steht der Rohstoffbezug durch die Industrie, der aus importierten metallischen und nichtmetallischen Rohstoffen, heimisch gewonnenen Industriemineralen und Baurohstoffen oder durch Sekundärrohstoffe gedeckt werden kann. Bei den Rohstoffimporten ist zu bedenken, dass diese auch durch einen Import von Fertigwaren erfolgen können, da hier ebenfalls Rohstoffe eingehen, auch wenn diese dann in der Statistik nicht als Rohstoffimporte ausgewiesen werden. Bis zu einem gewissen Grad kann es auch zu einer Substitution eines Rohstoffes durch einen anderen Rohstoff kommen, wenn der substituierte Rohstoff beispielsweise von Lieferengpässen oder zu hohen Preisen gekennzeichnet ist. Der Substitution von Rohstoffen sind aber aus technologischen, werkstofflichen und wirtschaftlichen Gründen meist

enge Grenzen gesetzt. Die Rohstoffe gehen dann in die Wertschöpfungsketten zur Herstellung von Produkten ein, die schließlich von den Endverbrauchern unterschiedlich lange genutzt werden. Das kann bei Verbrauchsgütern, wie z.B. Verpackungen, sehr kurze Zeit der Fall sein, bei langlebigen Gebrauchsgütern, wie z.B. Autos oder Immobilien, dagegen mitunter viele Jahre. Die Produktbindung der Rohstoffe differiert somit erheblich, bis die Produkte schließlich an ihr Lebensende kommen. Sie werden dann als Schrotte entweder exportiert bzw. auf verschiedene Weise entsorgt oder recycelt.

Im Zentrum des Produktkreislaufs steht die **Erhöhung der Ressourceneffizienz**, was auch eine Reduzierung des Rohstoffeinsatzes einschließt. Von besonderer Bedeutung ist in dem Zusammenhang neben dem allgemeinen technischen Fortschritt vor allem die verstärkte Etablierung *zirkulärer Produktdesigns*, durch die die Recyclingfähigkeit von Produkten und damit auch die Effizienz des Rohstoffeinsatzes maßgeblich erhöht werden kann. Hierzu müssen Wissenschaft, Wirtschaft und Politik gleichermaßen Beiträge leisten.

Im **Sekundärrohstoffkreislauf** (dunkelgrau markiert) müssen zunächst einmal die End-of-Life-Schrotte gesammelt, sortiert und ggf. aufbereitet werden, um dann ins Recycling eingehen zu können. Das Recycling wird dabei vom Einsatz bestimmter Recyclingtechnologien geprägt, die künftig weiterentwickelt werden müssen. Das Ziel muss es zudem sein, die Mengen, die recycelt werden, zu erhöhen, was eine Ausweitung der Recyclingkapazitäten erforderlich macht. Im Anschluss an das Recycling gehen die wiedergewonnen Rohstoffe als Sekundärrohstoffe wieder in den Produktionsprozess ein und substituieren dann teilweise den Einsatz von Primärrohstoffen.

Die Grafik offenbart auch die verschiedenen **Ansatzpunkte zur Optimierung der Stoffkreisläufe**. Da Deutschland wie auch NRW in den kommenden Jahrzehnten weiterhin in einem erheblichen Maße von Primärrohstoffimporten wie auch der heimischen Primärrohstoffgewinnung abhängig sein wird, ist die Gewährleistung funktionsfähiger und offener Primärrohstoffmärkte von zentraler Bedeutung. Während das bei den globalen Primärrohstoffmärkten vor allem eine Aufgabe der supranationalen Organisationen wie der *World Trade Organisation* (WTO), der *Organisation for Economic Co-operation and Development* (OECD) oder der Europäischen Union (EU) ist, auf deren Entscheidungen die Bundes- und die NRW-Landesregierung zumindest aber mit einwirken kann, ist das bei den heimisch geförderten Primärrohstoffen in erster Linie eine Aufgabe der NRW-Landesplanung. Die seit Mitte des Jahres 2020 zu verzeichnenden Preissteigerungen z.B. bei Baurohstoffen oder auch bei vielen metallischen Rohstoffen haben noch einmal vor Augen geführt, wie bedeutsam die Primärrohstoffmärkte für die Industrieproduktion sind.

Auf den Bedarf einer gezielten FuE-Förderung und die Notwendigkeit der Änderung gesetzlicher Rahmenbedingungen seitens der Politik war etwa in Bezug auf die verstärkte Etablierung von *zirkulären Produktdesigns*, die Erhöhung der Erfassungsquoten bei der Sammlung von End-of-Life-Produkten,

die Verbesserung der Recyclingtechnologien oder die Erhöhung der Recyclingkapazitäten bereits verwiesen worden. Ein weiterer zentraler Handlungsbedarf besteht in Hinblick auf die **Eindämmung dissipativer Rohstoffverluste**, die an nahezu allen Stellen der genannten Stoffkreisläufe auftreten können. Dies fängt bereits bei der Rohstoffförderung und der Rohstoffaufbereitung an, setzt sich beim Bezug der Rohstoffe und deren Einarbeitung in Produkte fort und betrifft schließlich den Konsum der Produkte, da es auch hier durch Abrieb, Korrosion und dergleichen oder durch eine Entsorgung über den Restmüll zu Rohstoffverlusten kommen kann. Ein großer Abfluss von Rohstoffen ergibt sich zudem durch den – teilweise sogar illegalen – Export von Schrotten, aber auch bei der Sammlung und Sortierung von Schrotten und schließlich beim Recycling treten mehr oder weniger große dissipative Verluste auf. Hier ergeben sich daher an verschiedenen Stellen Anknüpfungspunkte für Wissenschaft, Wirtschaft und Politik, diese Verluste so weit wie möglich einzudämmen.

Deutschland ist in Bezug auf mineralische Rohstoffe ein durchaus rohstoffreiches Land, was auch für NRW gilt.

Mengenmäßig entfallen etwa 85% des gesamten inländischen Primärrohstoffbedarfs auf die heimische Rohstoffförderung. Insbesondere für die anstehenden großdimensionierten Infrastrukturinvestitionen und den Wohnungsbau sind heimische Rohstoffe unverzichtbar, aber auch für viele industrielle Anwendungen. Deutschland ist daher im internationalen Maßstab betrachtet in Hinblick auf die Rohstoffgewinnung bedeutender als häufig angenommen: Einschließlich der Raffinade, die im Übrigen eine der großen Stärken von NRW darstellt, liegt Deutschland im weltweiten Vergleich aller Länder immerhin auf Rang 18 (siehe dazu auch den Abschnitt 3.5). Gleichwohl ist die Bedeutung der heimischen Förderung mineralischer Rohstoffe gemessen am Anteil an dem gesamtwirtschaftlichen Produktionswert von nur etwa 0,1% doch eher bescheiden; im Vergleich dazu entspricht der Wert der importierten mineralischen Rohstoffe immerhin 1,3% des gesamtwirtschaftlichen Produktionswerts (siehe dazu auch den Abschnitt 3.3). Zu bedenken ist dabei, dass Deutschland und damit auch NRW bei den metallischen Primärrohstoffen nahezu vollständig von Rohstoffeinfuhren abhängig ist, und zwar überwiegend aus Nicht-EU-Ländern.

Ein großes inländisches Rohstoffreservoir stellen aber die Sekundärrohstoffe dar. Diese Quelle ist schon heute bei einigen Rohstoffen bedeutend, insbesondere bei den Massenerohstoffen wie z.B. Aluminium, Eisen, Kupfer oder den Baurohstoffen, aber auch bei einigen anderen mineralischen Rohstoffen.

Für die Zukunft sind in diesem Bereich zudem erhebliche Veränderungen zu erwarten: Zum einen wird bei neuen Produkten zunehmend deren Recyclingfähigkeit in den Fokus rücken (*zirkuläres Design*, auch als *Design for Recycling* bezeichnet), zum anderen wird mit hoher Intensität an der Erforschung bzw. Weiterentwicklung neuer und effizienterer Recyclingtechnologien gearbeitet. In der Hinsicht kommt dem Standort Deutschland und vor allem auch NRW zugute, dass solche Technologien im weltweiten Vergleich betrachtet bereits weit entwickelt sind und in Hochschulen, Forschungseinrichtungen und Unternehmen viel Know-how vorhanden ist.

Hierauf kann bei der **verstärkten Etablierung einer Kreislaufwirtschaft** künftig aufgebaut werden. NRW ist hierfür gut aufgestellt und sollte daher versuchen, eine Vorreiterrolle einzunehmen, zumal hiermit auch große wirtschaftliche Potenziale verbunden sind. Eine geschlossene Kreislaufwirtschaft ist zwar eine Utopie, die nicht vollständig umsetzbar sein wird, da auch weiterhin Primärrohstoffe eine wesentliche Rolle spielen werden, im Kern wird es für eine industrialisierte Gesellschaft aber darum gehen, ein neues Verständnis zu entwickeln: Roh- und Werkstoffe sollten möglichst effizient und effektiv im Kreislauf geführt werden können, um am Ende des Produktzyklus wieder als Werkstoff für einen neuen Produktzyklus zu dienen. Eine solche *zirkuläre Wertschöpfung* geht über Recycling, Reuse oder *Refurbish* hinaus, es erfordert neue Produkte, Produktionsverfahren und Geschäftsmodelle sowie ein neues Denken in Bezug auf den Ge- und Verbrauch von Produkten. Dies erfordert allerdings Zeit. Das gilt für die Verbesserung von *zirkulären Produktstandards* in Hinblick auf deren Recyclingfähigkeit, die Ausweitung von Sekundärmaterialien durch höhere Sammelquoten und eine Eindämmung von Schrottexporten wie auch die Entwicklung von besseren Recyclingtechnologien und den Ausbau der Recyclingkapazitäten.

Insofern sind **einstweilen und für längere Zeit Primärrohstoffe noch von großer Bedeutung für die NRW-Industrie**. Die Lage auf den globalen Rohstoffmärkten ist dabei zum Teil sehr angespannt. Bei einigen der für die Wettbewerbsfähigkeit der heimischen Industrie strategisch bedeutsamen Rohstoffe gibt es ressourcen- und produktionsbedingte Engpässe, die sich durch protektionistische Handelsmaßnahmen der Förderländer sowie zuletzt auch durch die Corona-Krise eher noch verschärft haben. Die Sicherstellung der Funktionsfähigkeit und die Offenhaltung der Rohstoffmärkte sind daher eine große Herausforderung, der man sich stellen muss. Die Rohstoffsicherung, die derzeit in erster Linie eine Aufgabe der Rohstoffe nachfragenden Unternehmen ist, könnte dann auch die Politik vermehrt in den Fokus rücken.

Dies gilt insbesondere vor dem Hintergrund, dass sich die **globale Primärrohstoffnachfrage in den kommenden Jahren aufgrund des voraussichtlich auch weiterhin dynamischen Wachstums der Weltbevölkerung und der Weltwirtschaft weiter steigen wird**, letzteres getrieben von der Dynamik der Schwellenländer, aber auch von der Technologieentwicklung angesichts der Elektrifizierung der Antriebe oder der Digitalisierung, Automatisierung und Dekarbonisierung der Wirtschaft und der damit verbundenen zusätzlichen Rohstoffnachfrage infolge der Etablierung von Zukunftstechnologien. Daher ist bei einigen Rohstoffen mit vorübergehend deutlich steigenden Preisen zu rechnen. Zu bedenken ist dabei aber, dass Rohstoffpreise zyklischen Schwankungen unterliegen. Eine steigende Nachfrage kann vorübergehend zu erratischen Rohstoffpreissteigerungen führen, da sich die Rohstoffförderung aufgrund der hohen Investitionen, die erforderlich sind, um die Fördermengen zu steigern, häufig erst zeitverzögert anpassen lässt, danach sinken die Preise in der Regel wieder (siehe dazu auch den Abschnitt 3.1).

Hinzu kommt, dass sich das **Angebot einiger Rohstoffe auf wenige, mitunter politisch instabile Länder konzentriert**, was mit einer hohen Importabhängigkeit und erheblicher Risiken für die nachfragenden Länder und deren Industrien verbunden ist. Dies ist insbesondere dann relevant, wenn diese Rohstoffe für die Wirtschaft essenziell und nur schwer substituierbar oder recycelbar sind. Die Beschaffungsmöglichkeiten von Rohstoffen betreffend sind diese quasi Monopolstellungen einzelner Staaten problematisch. Ein Beispiel dafür ist der Einfluss Chinas auf Seltenerdenmetalle. Mehr als vier Fünftel der weltweiten Förderung dieser Metalle entfällt auf China, was mit der räumlichen Verteilung dieser Bodenschätze zusammenhängt, deren Vorkommen sich sehr stark auf diese Region konzentrieren. Zudem versucht China auch die Kontrolle über Unternehmen außerhalb des Landes zu gewinnen, die Seltenerdenmetalle fördern.

Auf die **Abhängigkeit von Rohstoffimporten** kann angesichts des möglichen Eintritts von Verknappungen auf den internationalen Rohstoffmärkten und den damit einhergehenden steigenden Rohstoffpreisen häufig nur sehr bedingt mit einer Steigerung der inländischen Rohstoffgewinnung reagiert werden. Einige dieser Rohstoffe können hierzulande entweder gar nicht oder nur mit einem erheblichen Ressourcenaufwand gewonnen werden. Zudem ist der heimische Rohstoffabbau immer auch mit einem Flächeneingriff verbunden. Entsprechende Abgrabungen können daher zu Konflikten etwa mit land- und forstwirtschaftlichen Nutzungen oder mit dem Natur- und Wasserschutz führen. Zwar sind die Reserven der wichtigsten heimisch geförderten Rohstoffe immer noch recht ergiebig, etwa bei Kies und Sand, sie werden aber durch den Rohstoffabbau sukzessive verringert, zudem fällt eine spätere Nutzung vorhandener Vorkommen weg, wenn es zu einer Flächenversiegelung kommt, etwa durch die Ausweisung von Siedlungs- oder Verkehrsflächen.

Zumindest für die kommenden Jahre birgt somit sowohl die **Situation auf den internationalen als auch den nationalen Primärrohstoffmärkten Risiken**. Dies ist angesichts des Umstands, dass mineralische Rohstoffe für Unternehmen unverzichtbare Produktionsfaktoren sind, kritisch. Das gilt besonders für viele Unternehmen in NRW, da hier die Industriestruktur zum Teil noch stark von der Grundstoffindustrie bestimmt wird. Der vor allem in einigen Wirtschaftszweigen des Verarbeitenden Gewerbes recht hohe Anteil der Materialkosten stellt daher einen wichtigen Faktor für die Wettbewerbsfähigkeit der Unternehmen dar. Ein Weg, das Rohstoffangebot zu erhöhen und die Importabhängigkeit zu verringern, ist die Erhöhung der Recyclingquoten. Die damit einhergehende Substitution von Primär- durch Sekundärrohstoffe würde zusammen mit einer Verbesserung der Recyclingfähigkeit neu auf den Markt gebrachter Produkte Beiträge zur Umsetzung einer nachhaltigen Kreislaufwirtschaft in NRW leisten.

Unter Wirtschaftlichkeits- und auch unter Nachhaltigkeitsgesichtspunkten betrachtet bestünde eine sinnvolle Strategie aber auch darin, die **Rohstoffintensität weiter zu reduzieren**, was sich beispielsweise durch die Realisierung eines effizienteren Rohstoffeinsatzes erreichen ließe. In entwickelten

Volkswirtschaften ist dieser Trend bereits seit einiger Zeit zu beobachten. So hat sich die Rohstoffintensität in Deutschland wie auch in NRW im zurückliegenden Vierteljahrhundert trotz eines (moderaten) Wirtschaftswachstums tendenziell verringert (siehe dazu auch den Abschnitt 3.2).

Vor diesem Hintergrund werden in der vorliegenden Studie der **Rohstoffbedarf und die Rohstoffversorgung der NRW-Industrie sowie die Schritte einer verstärkten Umsetzung einer Kreislaufwirtschaft** betrachtet. Dabei wird mit einem besonderen Fokus auf die Substitution von Primär- durch Sekundärrohstoffe sowohl auf den Import von Primärrohstoffen als auch die Sicherung einer nachhaltigen Rohstoffversorgung mit heimischen Rohstoffen Bezug genommen. Der gleichzeitigen Erreichung der zentralen Ziele Versorgungssicherheit, Wirtschaftlichkeit und Nachhaltigkeit wird dabei in angemessener Weise Rechnung getragen.

Abschnitt 2 der Studie stellt den Untersuchungsansatz vor, der Desktop- und Datenanalysen, Expertengespräche, Risiko- und Trendanalysen sowie Fallstudienanalysen umfasst.

Abschnitt 3 zeigt den Rohstoffbedarf und die Rohstoffversorgung der NRW-Schlüsselindustrien mit importierten und heimisch geförderten Primärrohstoffen auf. In Abschnitt 3.1 werden zunächst die Preisschwankungen auf den Rohstoffmärkten vor dem Hintergrund der Rohstoffpreiszyklen aufgezeigt. Abschnitt 3.2 beleuchtet dann den Zusammenhang zwischen Wirtschaftswachstum und Rohstoffintensität. Abschnitt 3.3 zeichnet die Entwicklung der Rohstoffimporte anhand von Risikoprofilen der einzelnen Importrohstoffe und ihrer Relevanz für NRW nach. Abschnitt 3.4 hat das Aufzeigen der Struktur der NRW-Schlüsselindustrien und des daraus resultierenden künftigen Rohstoffbedarfs zum Gegenstand. In Abschnitt 3.5

wird die Versorgung mit heimisch geförderten Rohstoffen und deren voraussichtlichen künftigen Entwicklung aufgezeigt.

Abschnitt 4 zeigt die verstärkte Nutzung von Sekundärrohstoffen in den NRW-Schlüsselindustrien und die voraussichtliche künftige Umsetzung einer Kreislaufwirtschaft auf. Dies umfasst in Abschnitt 4.1 zunächst den Zusammenhang zwischen *Circular Economy* und Rohstoffnutzung. In Abschnitt 4.2 werden Modellansätze zur Messung der Rohstoffsubstitution und des Sekundärrohstoffeinsatzes vorgestellt und in Abschnitt 4.3 die Parameter zu deren Messung diskutiert. In Abschnitt 4.4 wird ein Überblick über die Substitution, die Rezyklierbarkeit und die Recyclingpotenziale der für die NRW-Schlüsselindustrien relevanten Rohstoffe gegeben. In den Abschnitten 4.5 bis 4.7 werden drei Fallstudien zu den Potenzialen der Ausweitung des Sekundärrohstoffeinsatzes vorgestellt: Recycling von Kunststoffverpackungen, von Traktionsbatterien aus Fahrzeugen und von Elektronikschrott. Abschnitt 4.8 zeigt schließlich auf, was daraus für die Etablierung einer Kreislaufwirtschaft gelernt werden kann.

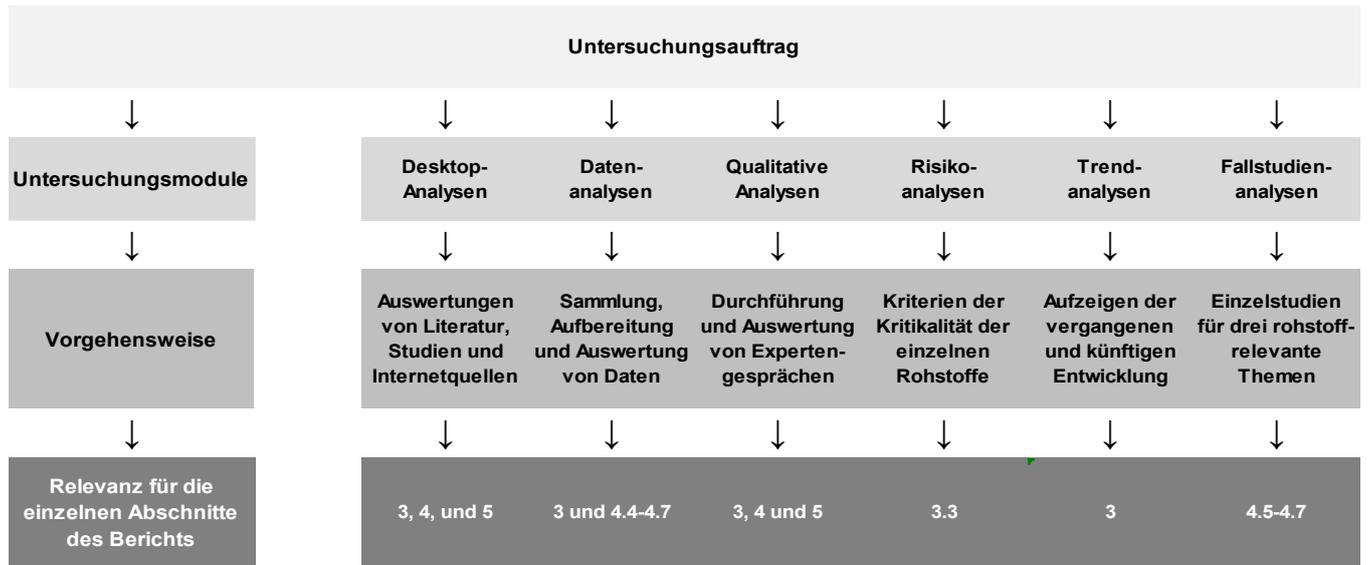
Abschnitt 5 beinhaltet die politischen Handlungsoptionen, auf deren Basis dann die Handlungsempfehlungen abgeleitet werden. Abschnitt 5.1 beschreibt zunächst die Ebenen der politischen Einflussnahme auf die Rohstoffversorgung. In Abschnitt 5.2 werden die rechtlichen Rahmenbedingungen mit Relevanz für den Rohstoffbereich aufgeführt. Abschnitt 5.3 beinhaltet Maßnahmen zur Sicherung der Versorgung mit importierten Rohstoffen und Abschnitt 5.4 zur Sicherung der Förderung heimischer Rohstoffe. Abschnitt 5.5 zeigt die Rahmenbedingungen zur Erhöhung des Sekundärrohstoffeinsatzes und zur Etablierung einer Kreislaufwirtschaft auf. In Abschnitt 5.6 werden einige Maßnahmen mit Leuchtturmcharakter zur Lösung von Rohstoffproblemen vorgeschlagen. Abschnitt 5.7 enthält ein Fazit und gibt einen Ausblick.

2. Untersuchungsansatz

Die verschiedenen Analysemodule des Untersuchungsdesigns, die der vorliegenden Studie zugrunde liegen, werden in Abb. 2.1 überblicksartig aufgezeigt. Sie liegen in einer jeweils

unterschiedlichen Gewichtung den verschiedenen Abschnitten der Studie zugrunde. Die Bestandteile der einzelnen Analysemodule werden im Folgenden vorgestellt.

Abb. 2.1: Analysemodule des Untersuchungsdesigns



Eigene Darstellung.

Desktop-Analysen

Die Desktop-Analysen zu den von der Studie adressierten Themen betrafen insbesondere Auswertungen

- der einschlägigen Literatur,
- vorliegender Rohstoffberichte und Rohstoffstrategien,
- einschlägiger Studien zu den verschiedenen rohstoffspezifischen Themen und
- von rohstoffrelevanten Internetseiten.

Die Ergebnisse dieser Auswertungen fließen an den verschiedensten Stellen in die Studie mit entsprechender Kennzeichnung der Quellen ein.

Datenanalysen

Die Datenanalysen für die vorliegende Studie beziehen sich auf unterschiedlichste Quellen, die als wesentliche empirische Basis für die vorgenommenen Untersuchungen und Darstellungen gesammelt, aufbereitet, ausgewertet und zusammengeführt wurden. Im Einzelnen umfasst dies Auswertungen u.a. die folgenden Daten:

- Statistische Ämter der Länder (Arbeitskreis VGR und Umweltökonomische Gesamtrechnung)
- Außenhandelsstatistik
- Input-Output-Tabellen
- Umsatzsteuerstatistik
- Deutsche Bundesbank
- Rohstoffinformationssystem ROSYS der Deutschen Rohstoffagentur (DERA) in der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR)
- HWWI-Rohstoffpreisindex
- IW-Industriemetallpreisindex
- U.S. Geological Survey
- Abgrabungsmonitoring NRW Lockergesteine
- Produktion des Verarbeitenden Gewerbes sowie des Bergbaus und der Gewinnung von Steinen und Erden
- BMWi-Reihe „Der Bergbau in der Bundesrepublik Deutschland“

- BGR-Reihe „Industriemineralien in Deutschland“
- EITI (*Extractive Industries Transparency Initiative*)
- Daten aus einschlägigen Studien und von rohstoffrelevanten Verbänden

Qualitative Analysen (Expertengespräche)

Die qualitativen Analysen beziehen sich auf die Auswertung der Ergebnisse von Gesprächen mit ausgewählten Experten aus dem Rohstoffbereich. Bei der Auswahl der Experten und der Vermittlung von Kontakten zu entsprechenden Ansprechpartnerinnen und -partnern waren dankenswerterweise Dr. Peter Buchholz von der Deutschen Rohstoffagentur (DERA) und das MWIDE NRW behilflich. Für die Führung der Expertengespräche wurde ein Gesprächsleitfaden erstellt und vorab an die Gesprächspartnerinnen und -partnern verschickt.

Die Gespräche wurden aufgrund der Corona-Krise ausschließlich per Videokonferenz geführt. Insgesamt sind im Rahmen der Erstellung der Studie 35 Expertengespräche geführt worden. Dies betraf im Einzelnen

- 16 Gespräche mit Vertreterinnen und -vertretern von Verbänden sowie Bundes- und Landesanstalten,
- 8 Gespräche mit Unternehmen,
- 5 Gespräche mit Forschungseinrichtungen und
- 6 Gespräche mit Datenanbietern.

Die Ergebnisse der Expertengespräche wurden schriftlich protokolliert und flossen dann in anonymisierter Weise an verschiedenen Stellen in die Studie ein.

Risikoanalysen

Die Risikoanalysen im Rahmen der Studie lehnen sich an entsprechende Ansätze an, die in der Literatur oder in anderen Studien verwendet werden. Dabei sind zur Einschätzung des Versorgungs- und Preisrisikos der Rohstoffe die folgenden Kriterien herangezogen worden:

- vorhandene Rohstoffvorräte,
- Entwicklung der künftigen Rohstoffnachfrage,
- Konzentration der Förderländer,
- politische Risiken der Förderländer,
- Substituierbarkeit und Recyclingfähigkeit.

Für die mineralischen Rohstoffe bzw. Rohstoffgruppen, für die auf diesem Wege ein hohes oder mittleres Risiko festgestellt wurde, wurden dann entsprechende Risikoprofile erstellt und die Relevanz der Risiken für NRW bestimmt.

Trendanalysen

Zur Ableitung des wachstumsbedingten Rohstoffbedarfs in NRW in den kommenden fünfzehn Jahren wurde ein Szenario der mittel- bis langfristigen wirtschaftlichen Entwicklung skizziert. Dabei konnte auf die Methoden und Erfahrungen zurückgegriffen werden, die im RWI regelmäßig bei der Erstellung der Mittelfristprojektionen zur Abschätzung der wirtschaftlichen Entwicklung eingesetzt werden. Da für die Erstellung der Studie die längerfristigen Wirtschaftstrends und weniger die kurzfristigen konjunkturellen Schwankungen von Bedeutung sind, wurde für diese Analyse die Entwicklung des Produktionspotenzials in den Mittelpunkt gestellt. Die realwirtschaftliche Entwicklung wurde dabei durch die Entwicklung des Produktionspotenzials approximiert und dabei den Spezifika von NRW Rechnung getragen. Hierin gingen das Arbeitsvolumen, der Kapitalbestand und der trendmäßige technische Fortschritt ein. In den kommenden Jahrzehnten wird dabei auch der demografische Wandel die Entwicklung des Produktionspotenzials in besonderer Weise beeinflussen.

Für die Rohstoffnachfrage ist allerdings nicht nur die aggregierte Wirtschaftsentwicklung von Bedeutung, sondern auch die Entwicklung der Wirtschaftszweige. Megatrends, wie die Digitalisierung, die Elektrifizierung der Antriebe oder die Dekarbonisierung der Wirtschaft dürften dabei auch Auswirkungen auf die Wirtschaftsstruktur in NRW haben. Derzeit wird dieser Strukturwandel besonders in der Automobilindustrie sichtbar. Alternative Antriebe und neue Materialien werden die künftige Rohstoffnachfrage spürbar beeinflussen. Ähnliche Entwicklungen sind aber auch für andere Wirtschaftszweige in Hinblick auf die Rohstoffnachfrage zu erwarten. Daher werden aggregierte sektorale Veränderungen der NRW-Schlüsselindustrien zusammengeführt und aufeinander abgestimmt.

Fallstudienanalysen

In Abschnitt 4 dieser Studie werden die Ergebnisse von insgesamt drei Fallstudien vorgestellt, welche die quantitativen Analysen ergänzen. Die Fallstudien erfolgen zum einen an Stellen, an denen die Empirie an ihre Grenzen stößt, da eine für die jeweilige Fragestellung erforderliche Datenbasis nicht in hinreichendem Maße verfügbar ist. Zum anderen wurden mit Hilfe der Fallstudien auch spezielle Aspekte näher beleuchtet, die hinsichtlich der Rohstoffversorgung der NRW-Wirtschaft von besonderer Bedeutung sind. Die Fallstudien beziehen sich dabei nicht auf einzelne Wirtschaftssektoren, Zukunftstechnologien oder mineralische Rohstoffe, sondern auf bestimmte Themen, die in Hinblick auf künftige Fragestellungen im Rohstoffbereich von besonderer Relevanz sind. Im Einzelnen wurden die folgenden Fallstudien durchgeführt:

- Recycling von Kunststoffverpackungen durch das Duale System (als Best-Practice-Beispiel),
- Recycling von Traktionsbatterien aus Fahrzeugen (u.a. von Lithium-Ionen-Batterien) sowie
- Recycling von Elektronikschrott.

3. Rohstoffbedarf und -versorgung der NRW-Schlüsselindustrien

3.1 Preisschwankungen auf den Rohstoffmärkten vor dem Hintergrund der Rohstoffpreiszyklen

Die Lage auf den Rohstoffmärkten ist mitunter angespannt und deren Funktionsfähigkeit nicht immer uneingeschränkt gegeben. Vor dem Hintergrund, dass die globale Nachfrage zumindest nach einigen strategisch wichtigen Rohstoffen voraussichtlich stark steigen wird, dürfte dies auch künftig der Fall sein. Gleichwohl impliziert das nicht grundsätzlich, dass die Rohstoffpreise steigen werden, denn Rohstoffmärkte sind aufgrund ihrer besonderen Angebots- und Nachfragebedingungen durch spezifische Preiszyklen geprägt.

Auf der Angebotsseite ist zu bedenken, dass Bergwerke oder Abgrabungen, die beispielsweise aufgrund von länger anhaltend niedrigen Rohstoffpreisen stillgelegt wurden, kurzfristig nicht ohne Weiteres wieder hochgefahren werden können. Eine Wiederaufnahme der Rohstoffförderung erfordert meist einen Vorlauf von mehreren Jahren. Steigt nunmehr die Nachfrage und steigen in der Folge die Rohstoffpreise, kann darauf kurzfristig meist nur durch eine Ausweitung der Förderung der in Betrieb befindlichen Bergwerke oder Abgrabungen reagiert werden. Eine Wiederaufnahme stillgelegter Bergwerke und Abgrabungen kommt daher erst in Betracht, wenn zu erwarten ist, dass die Preiserhöhungen von einer gewissen Dauer sein werden, da sonst die Preise nach deren Wiederaufnahme schon wieder gesunken sein könnten, was die Rentabilität der Wiederinbetriebnahme infrage stellen würde.

Eine weitere Möglichkeit, angebotsseitig auf eine steigende Nachfrage bzw. steigende Rohstoffpreise zu reagieren, ist das Auffahren eines neuen Bergwerks oder Abgrabungsvorhabens. Dazu bedarf es zunächst erheblicher Explorationsanstrengungen, um Rohstofflagerstätten mit einer ausreichend hohen Mineralisierung aufzusuchen und zu erkunden. In der Folge sind Probebohrungen, die Durchführung von Machbarkeitsstudien und die Suche nach Geldgebern zur Finanzierung erforderlich, um die Exploration und die mögliche spätere Rohstoffförderung entsprechend vorantreiben zu können. Von der Aufsuchung von Lagerstätten bis zum Beginn der Rohstoffförderung können somit 10-15 Jahre vergehen. Die damit verbundenen hohen Investitionen werden häufig über Venture-Capital-Unternehmen oder durch einen Börsengang finanziert, wobei es erfahrungsgemäß nur etwa jedes zwanzigste Vorhaben auch tatsächlich bis zur Rohstoffförderung schafft.

Die meisten dieser weltweit angestoßenen bzw. erfolgten Rohstoffabbauvorhaben scheitern letztendlich an der Finanzierung, weil sich beispielsweise die Mineralisierungsgrade der Vorkommen als nicht so ergiebig wie erhofft erweisen, weil

die Rohstoffpreise wieder abflauen, weil sich das Management als nicht ausgewiesen genug erweist oder weil die Kapitalgeber sich mutmaßlich rentableren Projekten zuwenden. Hinzu kommt, dass es meist sehr komplizierte Zulassungsverfahren zu durchlaufen gilt, deren Ausgang vor allem in politisch eher instabilen Ländern vielfach nur relativ schwer abschätzbar ist, was ebenfalls dazu beitragen kann, dass Kapitalgeber vorzeitig abspringen oder ihr jeweiliges finanzielles Engagement zumindest nicht weiter ausbauen.

Nachfrageseitig spielen ebenfalls verschiedene Aspekte eine Rolle. Grundsätzlich ist weltweit aufgrund des Bevölkerungswachstums und Wirtschaftswachstums ein steigender Rohstoffbedarf zu verzeichnen, was aller Voraussicht nach auch die künftige Entwicklung der Rohstoffnachfrage prägen wird. In diesem Zusammenhang spielen insbesondere die Schwellenländer eine große Rolle, da deren Volkswirtschaften sich in einer Transformation befinden. Der steigende Wohlstand impliziert ein hohes Wirtschaftswachstum bei einem gleichzeitig überproportionalen Wachstum der Primärrohstoffnachfrage.

Etwas anders stellt sich die Situation in den Entwicklungsländern dar. Sie weisen zwar pro Kopf einen relativ geringen Rohstoffbedarf auf, allerdings ist deren Bevölkerungswachstum meist recht hoch. Zudem können Entwicklungsländer perspektivisch durchaus zu Schwellenländern werden, was sich in verschiedenen Ländern bereits abzeichnet und künftig auch für einige afrikanische Länder zu erwarten ist, was in der Vergangenheit eher seltener der Fall war.

In den entwickelten Industrieländern ist die Rohstoffnachfrage insgesamt zwar sehr hoch, allerdings ist hier sowohl das Bevölkerungswachstum als auch das Wirtschaftswachstum nur vergleichsweise moderat. Zudem gibt es zunehmende Bestrebungen, den Bedarf an Primärrohstoffen durch ein verstärktes Recycling und eine damit verbundene Bereitstellung von Sekundärrohstoffen sowie eine Schließung von Stoffkreisläufen zu reduzieren. Hinzu kommen Anstrengungen, Rohstoffe durch andere Materialien zu substituieren und die Rohstoffeffizienz durch gezielte Maßnahmen zu erhöhen.

Dem steht aber entgegen, dass der Bedarf einiger Rohstoffe, die nicht ohne Weiteres zu substituieren und (noch) relativ schwer zu recyceln sind, zum Teil sehr deutlich ansteigen wird (z.B. Batterierohstoffe wie Lithium oder Seltenerdenmetalle). Der Hintergrund dafür ist die Etablierung von Zukunftstechnologien etwa im Zusammenhang mit der Elektrifizierung der Antriebe oder der Dekarbonisierung der Wirtschaft.

Angebot und Nachfrage sowie die daraus resultierenden Preise sind daher auf den Rohstoffmärkten von mehreren Bestimmungsfaktoren geprägt. Die periodischen Preisschwankungen folgen dabei aber bestimmten Mustern. In der Ökonomie wird dies meist mit dem sog. Schweinezyklus begründet.

Dieser hat seinen Namen daher, dass die Ursachen, die diesen Markt- und Preisschwankungen zugrunde liegen, erstmals für den Schweinemarkt beschrieben wurden (siehe dazu den grauen Kasten auf der folgenden Seite; in Anlehnung an Dehio 2020: 68f.; erstmals beschrieben in Hanau 1928).

Ursachen der Preisschwankungen auf den Rohstoffmärkten – der Schweinezyklus

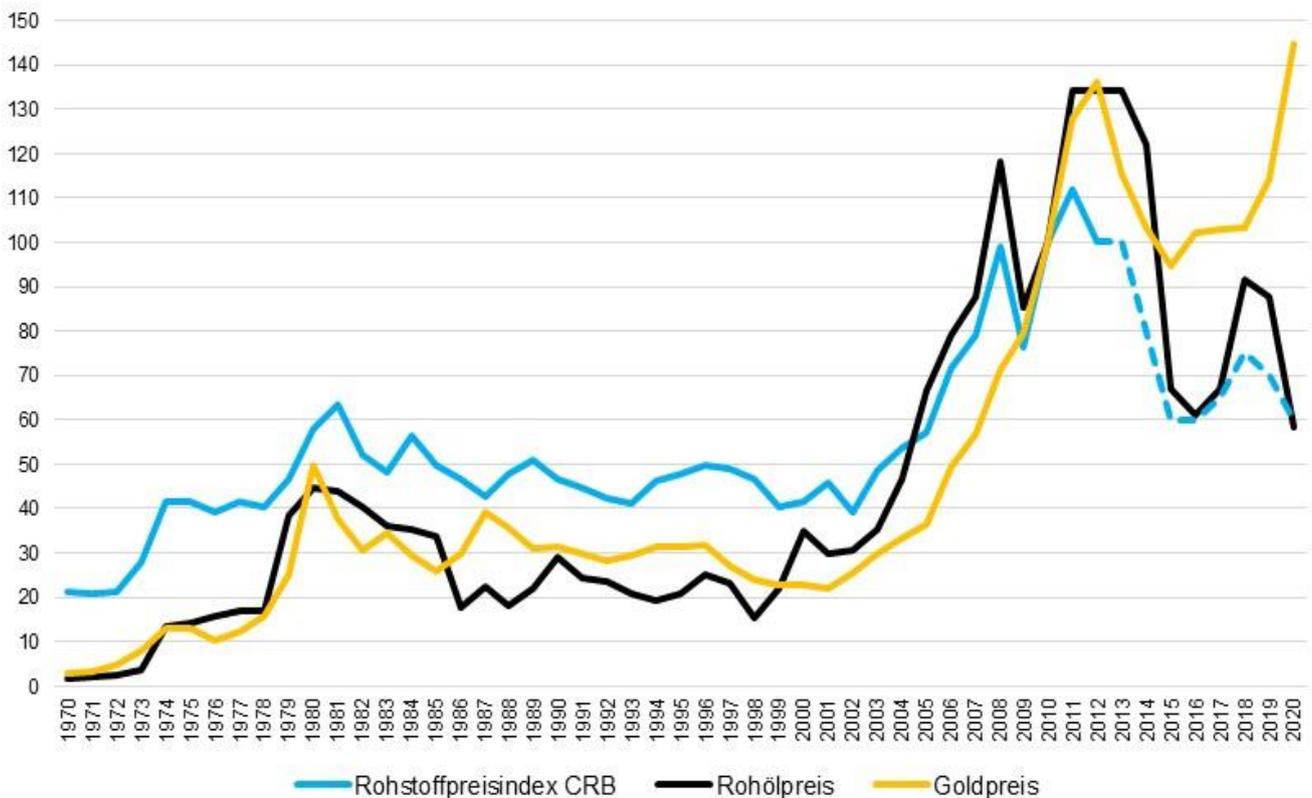
Hervorgerufen wird ein Schweinezyklus durch eine verzögerte Anpassung des Angebots an die z.B. durch Preisänderungen infolge eines verändertes Konsumverhaltens bedingte Nachfrage. Da zwischen der Ferkelerzeugung und der Schlachtreife der Schweine 15 Monate vergehen, führt eine Erhöhung des Schweinepreises erst nach rund eineinhalb Jahren zu einer Angebots-erhöhung. Die gestiegene Angebotsmenge senkt schließlich dann den Preis und die Aufzucht wird wieder reduziert. Schließlich kommt es erneut zu Preissteigerungen und ein neuer Zyklus beginnt.

Eine theoretische Erweiterung des Schweinezyklus ist das *Cobweb-Theorem*. Verzögerte Anpassungen des Angebots können demnach in Abhängigkeit von den Angebots- und Nachfrageelastizitäten zu unterschiedlichen, zum Teil sehr ausgeprägten Preisreaktionen führen, was für Rohstoffmärkte häufig charakteristisch ist.

Die Preis- und Mengenbewegungen von Rohstoffen verlaufen meist in solchen Zyklen. Eine Reaktivierung stillgelegter oder das Auffahren neuer Minen ist sehr langwierig und kapitalintensiv. Daher setzen Bergbauinvestitionen voraus, dass die Nachfrage- und Preissteigerungen auf den jeweiligen Rohstoffmärkten eine gewisse Dauer und Nachhaltigkeit aufwei-

sen, sodass eine Amortisation des Kapitaleinsatzes angenommen und somit das Angebot erhöht wird, bevor das erhöhte Angebot dann die Preise wieder sinken lässt und Minen teilweise wieder stillgelegt werden. Wie sich dies langfristig auf die Rohstoffpreise auswirken kann, zeigt Abbildung 3.1.1.

Abb. 3.1.1: Entwicklung des Rohstoffpreisindex CRB, des Rohölpreises und des Goldpreises



Jahresdurchschnittswerte; 2010 = 100

Eigene Darstellung und Berechnungen in Anlehnung an Dehio (2020). – Gestrichelte Linie: HWWI-Rohstoffpreisindex (HWWI 2021).

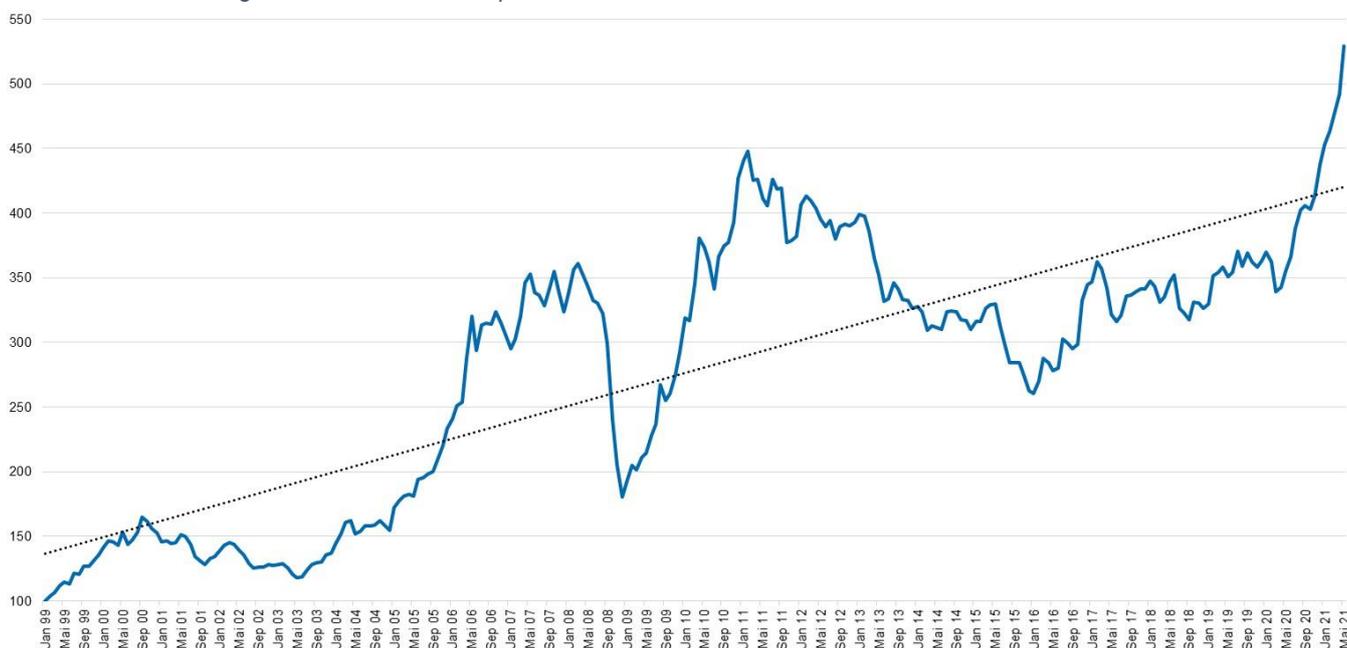
In der Abbildung ist die Entwicklung des Rohstoffpreisindex CRB¹, des Rohölpreises und des Goldpreises für die zurückliegenden fünf Jahrzehnte in nominalen Preisen ausgewiesen. Der Rohöl- und Goldpreis sind hier mit aufgeführt, da ihnen als Seismograph nicht nur aus der Rohstoffperspektive betrachtet meist eine besondere Beachtung geschenkt wird. Der Rohölpreis ist genauso wie der Goldpreis deutlich stärker gestiegen als der breiter angelegte Rohstoffpreisindex CRB, der die Energie- und Edelmetallpreise mit abbildet. Was die Schwankungen dieser drei Indikatoren im Zeitverlauf anbelangt, zeigt sich, dass diese häufig synchron verlaufen.

Das gilt sowohl für die kurzfristigeren Schwankungen als auch für die größeren Wellen mit den Zwischenhochs 1979/1980 und 2010/2011. Der Index CRB befand sich demnach im Jahr 2020 nominal in etwa auf dem Niveau von 1980 und war nominal etwa dreimal so hoch wie 1970.

Seit Mitte des Jahres 2020 sind die Rohstoffpreise dann jedoch deutlich gestiegen, was die Entwicklung des IW-Industriemetallpreisindex ausweist (Abb. 3.1.2). Wichtig für die Berechnung des Indexes sind mit einem Anteil von zwei Dritteln Kupfer, Aluminium und Eisen (IW 2021). Von diesen Rohstoffen wurde der Anstieg des Indexes zunächst vornehmlich hervorgerufen, inzwischen sind aber auch andere Metalle deutlich gestiegen, wie z.B. Nickel, Zink oder Zinn.

Die mediale Aufmerksamkeit hierfür ist, wie das in solchen Fällen meist der Fall, wenn Rohstoffpreise mal wieder steigen, sehr hoch. Die Frage stellt sich aber, welche Ursachen dieser Entwicklung zugrunde liegen und wie sich die Rohstoffmärkte und die Herausbildung der Preise mittelfristig entwickeln wird. Schließlich ist von besonderem Interesse, was das letztendlich für die Industrie bedeuten wird.

Abb. 3.1.2: Entwicklung des IW-Industriemetallpreisindex



Monatswerte; Anfang 1999 = 100

Eigene Darstellung nach Angaben von IW (2021).

Auf den ersten Blick mögen das Ausmaß wie auch der Zeitpunkt des Beginns des Anstiegs der Rohstoffpreise, der schon Mitte 2020 einsetzte, etwas verwundern. Bei näherem Hinsehen kann die Entwicklung aber nicht wirklich überraschen, da es hierfür mehrere gut nachvollziehbare Gründe gibt:

(1) Zunächst einmal hatten die Rohstoffpreise zuvor über etwa ein Jahrzehnt hinweg eine Talsohle durchschritten, was naturgemäß ein gewisses Aufholpotenzial impliziert. Börsianer würden hier von einem *Gap* sprechen (wörtlich übersetzt: Spalt), das nunmehr geschlossen wird.

(2) Im Zuge der Corona-Krise mussten viele Bergbauunternehmen ihre Förderung vorübergehend aussetzen, was zu Produktionsausfällen führte, zudem wurden die Lieferketten unterbrochen, was auch steigende Transportkosten mit sich brachte. Da sich die Produktionsausfälle bei den Minen kurzfristig nicht ohne Weiteres durch deren verstärktes Hochfahren wieder kompensieren ließen, führte das auf den Rohstoffmärkten auch zu angebotsseitigem Druck auf die Preise.

(3) Es ging zwischenzeitlich zwar auch die Rohstoffnachfrage aufgrund von ebenfalls durch die Corona-Krise bedingten Produktionseinschränkungen in den rohstoffnachfragenden Ländern und eine Unterbrechung der Lieferketten zurück. Dafür

¹ Werte für den Rohstoffpreisindex CRB, der mit einer Gewichtung von etwa einem Drittel auch Energierohstoffe beinhaltet, werden nur

bis zum Jahr 2012 ausgewiesen. Die Zeitreihe wurde daher ab 2013 mit Hilfe des HWWI-Rohstoffpreisindex fortgesetzt (HWWI 2021).

ist die wirtschaftliche Erholung aber umso dynamischer, was mit einer wieder rasch steigenden Rohstoffnachfrage verbunden ist. Selbst wenn diese Nachfragesteigerungen noch nicht in dem Maße erkennbar sein sollten, werden sie zumindest erwartet, was bereits ausreicht, um Preiseffekte zu entfalten.

(4) Ebenfalls durch die Corona-Krise bedingt, hat sich die Transformation der Wirtschaft noch weiter beschleunigt, was wieder verstärkt die Umwälzungen im Zusammenhang mit den laufenden Megatrends – Digitalisierung, Automatisierung, Elektromobilisierung, Dekarbonisierung usw. – und der Etablierung von Zukunftstechnologien sowie der damit einhergehenden zusätzlichen Rohstoffnachfrage in den Fokus rückt.

(5) Durch die massiven Interventionen seitens der Notenbanken und der Politik, um durch niedrige Zinsen, Finanzhilfen und Konjunkturprogramme die Wirtschaft wieder zum Laufen zu bringen, werden geldmengenbedingte Inflationsängste geschürt. Darauf reagieren Rohstoffmärkte meist sehr sensibel und als Frühindikatoren auch relativ zeitig, wobei sie dann ihrerseits inflationsverstärkend wirken können.

Es sind also sowohl angebots- und nachfrageseitige Faktoren, die für steigende Rohstoffpreise sorgen, als auch das gesamtwirtschaftliche Umfeld, das zu dieser Entwicklung maßgeblich beiträgt. Wie sich die Rohstoffmärkte vor diesem Hintergrund im weiteren Jahresverlauf und darüber hinaus entwickeln werden, ob wir uns beispielsweise am Beginn eines neuen Superzyklus oder nur einer temporären Aufwärtsentwicklung befinden, ist nicht mit Bestimmtheit zu sagen (RWI 2021). Bis Mitte des Jahres 2021 ist die Entwicklung aber noch als relativ normal zu bezeichnen. Rechnerisch bedeutet das jetzige Preisniveau, dass die Metallpreise seit dem Zwischenhoch im Februar 2011 im Durchschnitt um weniger als 2% p.a. gestiegen sind. Die Trendlinie in Abbildung 3.1.2 verzeichnet zwar einen Anstieg von nominal 5% p.a., bezogen auf das Hoch Anfang der 1980er-Jahre beträgt der nominale Anstieg der Rohstoffpreise aber nur 1,5% p.a.

Rechnet man den zuletzt zu beobachten gewesenen Anstieg bis Mitte des Jahres 2021 mit ein, sind die Rohstoffpreise im zurückliegenden halben Jahrhundert somit nominal nur um ca. 3% p.a. gestiegen. Auch wenn Diskussionen über die Rohstoffpreisentwicklung häufig einen anderen Eindruck erwecken, bleibt festzuhalten, dass summa summarum die Preise langfristig real weitgehend konstant bleiben oder sogar sinken (RWI, ISI und BGR 2006; DERA 2013), wenngleich zwischen-

zeitlich starke Schwankungen zu verzeichnen sind und es zwischen Rohstoffen große Unterschiede geben kann (inwieweit sich dieser Trend fortsetzen wird, bleibt abzuwarten).

Die Ursache dafür ist im Wesentlichen darin zu sehen, dass die Rohstoffreserven und -ressourcen relativ ergiebig sind (siehe dazu auch den Abs. 3.4). Rohstoffressourcen werden dabei in identifizierte und unentdeckte Ressourcen unterteilt (Abb. 3.1.3). Die identifizierten Ressourcen setzen sich zusammen aus gemessenen, durch Probebohrungen, Satellitenaufnahmen und dergleichen indizierten sowie den hieraus aufgrund von geologischen Erfahrungswerten abgeleiteten Ressourcen, und diese wiederum in wirtschaftlich abbaubare, wirtschaftlich noch nicht abbaubare sowie wirtschaftlich nicht abbaubare Ressourcen unterteilt. Die Rohstoffreserven bestehen somit aus den gemessenen und indizierten ökonomisch und marginal ökonomisch sowie einem Teil der subökonomisch abbaubaren Ressourcen (in der Abb. sind die Reserven grau markiert).

Die Reserven werden durch den technischen Fortschritt, steigende Rohstoffpreise und neu aufgefundene Rohstoffe erweitert, durch die Rohstoffförderung sowie steigende Investitions- und Förderkosten dagegen reduziert. Unentdeckte Ressourcen werden in hypothetische und spekulative Ressourcen unterteilt. Zu den anderen Vorkommen gehören z.B. Rohstoffe niedriger Konzentrationen in der Erdkruste, aus hydrothermalen Quellen etwa auf dem Grund des Meeres, unter dem mehrere tausend Meter mächtigen ewigen Eis der Antarktis und Grönlands, aus der Filtrierung von Wasser oder von Meteoriten bzw. anderen Planeten.

Veränderte technologische, ökonomische und rechtliche Rahmenbedingungen beeinflussen die Reserven wie auch die Angebots- und Nachfragebedingungen auf den Rohstoffmärkten. So wird bei steigenden Rohstoffpreisen der Abbau von Vorkommen rentabel, der zuvor aufgrund hoher Erschließungs- oder Förderkosten nicht wirtschaftlich war, im Zuge steigender Explorationsausgaben werden neue Rohstoffvorkommen entdeckt, es gewinnen durch den preis- oder durch FuE-Förderung bedingten technischen Fortschritt Recyclingmethoden an Wirtschaftlichkeit oder es kann zu Substitutionseffekten kommen, aufgrund derer die im Preis gestiegenen Rohstoffe durch andere ersetzt werden. All dies führt zusammengenommen zu einer Ausweitung des Rohstoffangebots bei einer gleichzeitigen Eindämmung der Nachfrage nach Rohstoffen und in der Folge zu wieder sinkenden Rohstoffpreisen.

Abb. 3.1.3: Komponenten der Rohstoffressourcen und -reserven

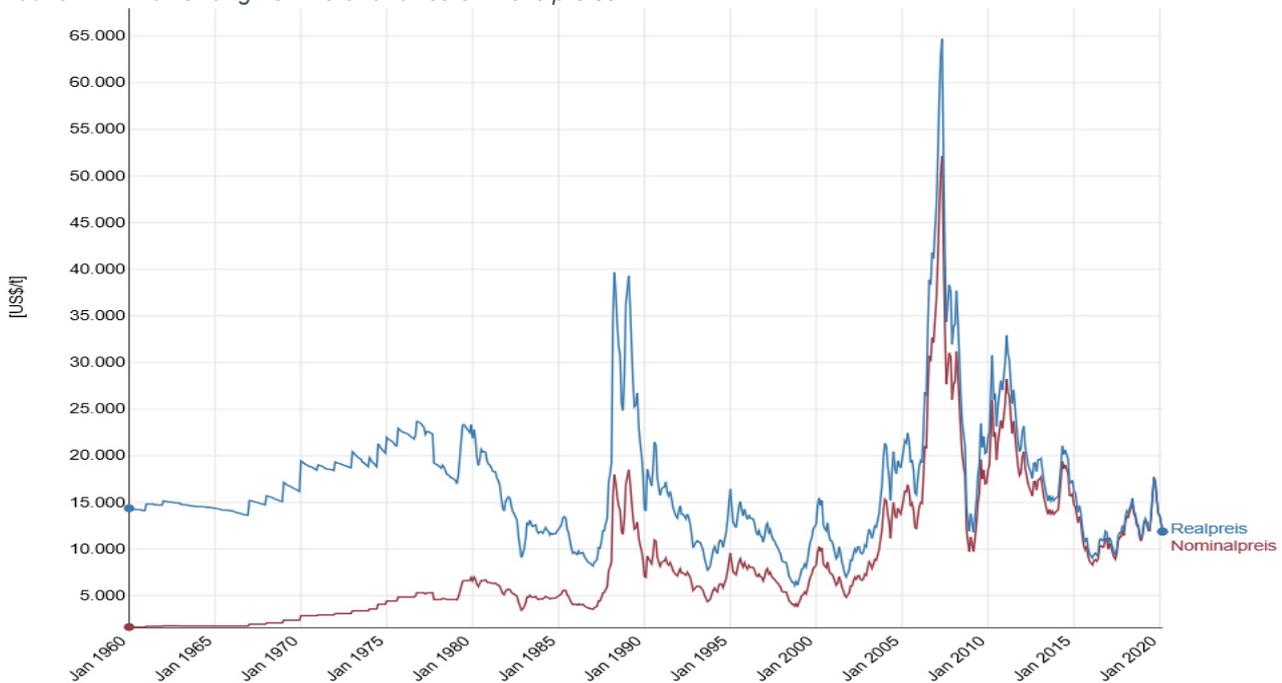
Rohstoffressourcen	identifizierte Ressourcen			unentdeckte Ressourcen	
	gemessene	indizierte	abgeleitete	hypothetische	spekulative
ökonomische	Reserven				
marginal ökonomische	marginale Reserven				
subökonomische					
andere Vorkommen	niedriggradige bzw. unkonventionelle Vorkommen				

Eigene Darstellung in Anlehnung an USGS (2021: 197).

Für die Industrie stellen Rohstoffpreissteigerungen ein Problem dar, da die Materialkosten steigen. Es ist aber ein normaler Vorgang, erst recht unter den gegebenen Umständen, dass die Rohstoffmärkte einen Preisimpuls benötigen, damit das Angebot wieder stimuliert und die Nachfrage gebremst wird. Das war auf den Rohstoffmärkten häufig zu beobachten, was auch künftig immer wieder der Fall sein dürfte. Mittelfristig werden sich die Versorgungssituation auf den Rohstoffmärkten

aber wieder bessern. Abgesehen vom Rohstoffmarkt als Ganzem wird es künftig auch bei einzelnen Rohstoffen immer mal wieder zu erratischen Preisbewegungen kommen, so wie das in der Vergangenheit schon sehr oft der Fall war. Es kommt dann zwischenzeitlich zu sehr starken Preisschwankungen, mitunter sogar Vervielfachungen der Preise innerhalb von kurzen Zeiträumen. Das zeigen beispielhaft Abbildungen 3.1.4 und 3.1.5 anhand der Entwicklung des Nickel- und Zinkpreises.

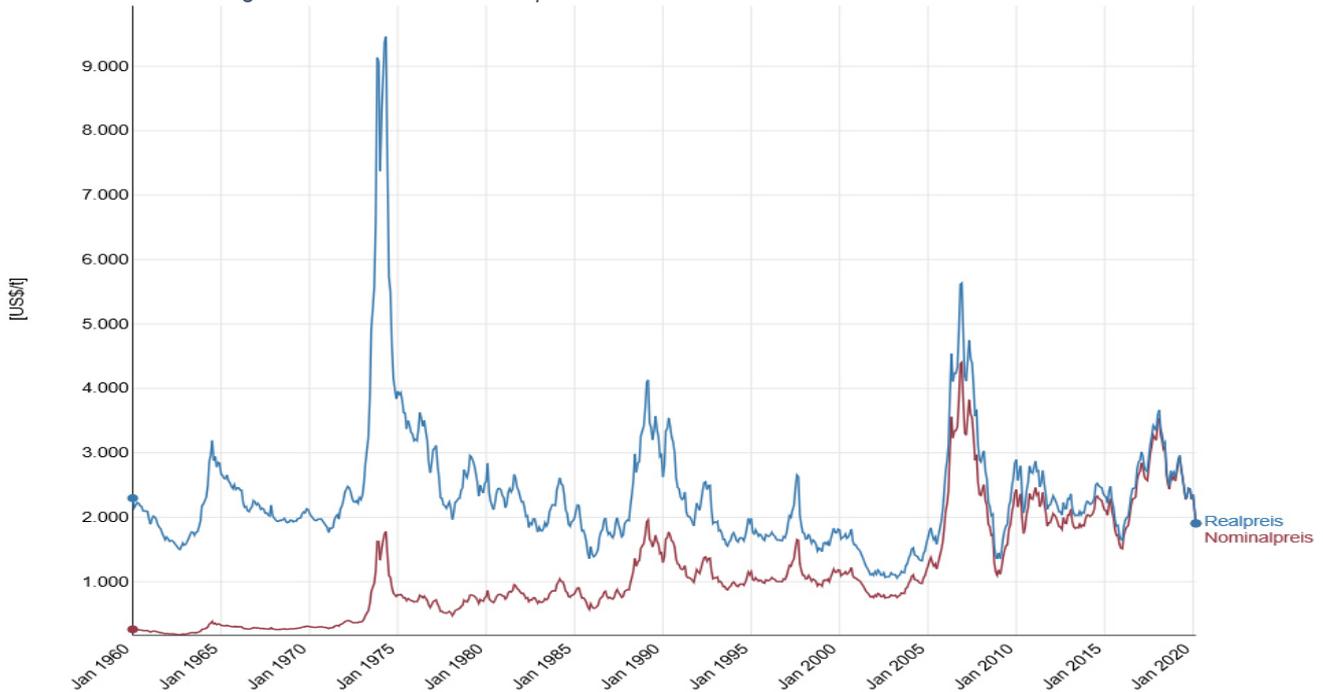
Abb. 3.1.4: Entwicklung nominaler und realer Nickelpreise



1960-2020

Rohstoffinformationssystem ROSYS (DERA 2021a).

Abb. 3.1.5: Entwicklung nominaler und realer Zinkpreise



1960-2020

Rohstoffinformationssystem ROSYS (DERA 2021a).

Der Nickelpreis stieg Mitte der 2000er-Jahre aufgrund von Exportbeschränkungen von Indonesien deutlich an, wie auch der Zinkpreis; dabei kam es jeweils zu einer Vervielfachung der Preise (ähnliche Preisentwicklungen waren beispielsweise 2011 bei Seltenerdenmetallen nach Exportbeschränkungen durch China oder 2018 bei Kobalt durch entsprechende Maßnahmen des Kongo zu beobachten). Über den Zeitraum von sechs Jahrzehnten hinweg zeigt sich in beiden Fällen und auch bei vielen anderen Rohstoffen (DERA 2013), dass sich die realen Preise wieder in der Nähe ihrer Ausgangsniveaus in den 1960er-Jahren einpendeln.

Angesichts der Wirkungsweise des Schweinezyklus spricht wenig dafür, dass sich daran in Zukunft grundsätzlich etwas ändern wird und die Rohstoffpreise auf Dauer real steigen. Zyklische Preisbewegungen werden zwar auch künftig bei fast allen Rohstoffen zu beobachten sein, meistens dürften diese aber schwächer als bei den gezeigten Beispielen ausfallen.

Einzelne Rohstoffe werden allerdings deutlich steigen, um entsprechende Angebotsimpulse zu setzen. Die Ursache könnte eine (erwartete) sprunghafte Nachfragesteigerung sein, die dann zu zeitversetzt eintretenden Erhöhungen der Fördermengen führen. In dem Zusammenhang spielen häufig auch marktpsychologische Faktoren eine Rolle, die zu spekulativen Übertreibungen auf den Terminmärkten können.

Rohstoffmärkte haben zwar einige Spezifika, letztendlich wird auf ihnen aber Angebot und Nachfrage durch den Preismechanismus zum Gleichgewicht gebracht, wie auf jedem anderen Markt. Die regionalen und zeitlichen Disparitäten, die es aufgrund der beschriebenen Angebots- und Nachfragebedingungen bei Rohstoffen gibt, werden über die Terminmärkte ausgeglichen, die bei Rohstoffen eine erheblich größere Bedeutung haben als bei vielen anderen Gütermärkten (zur Funktionsweise der Terminmärkte siehe den folgenden grauen Kasten; in Anlehnung an Dehio 2020: 106ff.).

Rohstoffhandel an Warenterminbörsen

Warenterminbörsen spielen für den Rohstoffhandel eine zentrale Rolle, da Angebot und Nachfrage meist zeitlich und räumlich auseinanderfallen. Das Auffahren einer Mine ist kostenintensiv und dauert Jahre, sodass es nur bedingt möglich ist, auf Nachfragesteigerungen kurzfristig mit Produktionserhöhungen zu reagieren. Zudem ist die Minenförderung relativ gleichmäßig über das Jahr verteilt, während die Nachfrage saisonalen Schwankungen unterliegt. Der Handel von Futures und Optionen dient dazu, diese Disparitäten zwischen Angebot und Nachfrage auszugleichen.

Die für Rohstoffe bedeutendste Warenterminbörse ist die *New York Commodities Exchange* (COMEX). Vereinfacht betrachtet stehen sich hier Minenproduzenten als Verkäufer und Verarbeitungsunternehmen als Käufer gegenüber, zudem treten auf der Verkäuferseite Investmentfonds und Spekulanten, auf der Käuferseite Finanzintermediäre und Hedge-Fonds auf. Primäre Funktion der Warenterminbörse ist es, durch das Eingehen von Hedging-Geschäften Preisrisiken abzusichern.

An der COMEX wird der größte Teil der Future-Kontrakte gehandelt. Ein Future-Kontrakt ist ein Vertrag, der den Verkäufer (Short-Seite) dazu verpflichtet, dem Käufer (Long-Seite) zu einem bestimmten Zeitpunkt zu einem bestimmten Preis einen physischen Rohstoff zu liefern. Zum Zeitpunkt des Geschäftsabschlusses ist offen, woher der Rohstoff im Falle der Auslieferung stammt. Da das Lieferversprechen sich auf einen künftigen Zeitpunkt bezieht und physisch nicht unterlegt werden muss, ist damit eine vorübergehende fiktive Erhöhung des Angebots verbunden.

Jeder Short-Position auf einem Future-Markt steht eine Long-Position gegenüber. Die Short-Seite erwartet sinkende Preise und erhöht das faktische Angebot, die Long-Seite erwartet steigende Preise, was zum Fälligkeitsdatum zu einer steigenden Nachfrage führt. Wer eine Short-Position eingeht, ist bei steigenden Rohstoffpreisen verpflichtet, bei der COMEX einen Nachschuss zu hinterlegen. Dadurch wird sichergestellt, dass Lieferverpflichtungen z.B. auch bei einer eintretenden Zahlungsunfähigkeit erfüllt werden können. Sofern die Long-Seite auf einer physischen Lieferung besteht, hat diese auch zu erfolgen. Hierzu unterhält die COMEX eigene Lagerbestände, um im Zweifelsfall die physische Ware unmittelbar bereitstellen zu können.

Die Lagerbestände sind aber begrenzt. Dies hat zur Folge, dass die Gefahr einer Verknappung durch ein zurückgehendes Angebot, eine steigende Nachfrage z.B. infolge neuer industrieller Anwendungen oder ein spekulatives Aufkaufen von Rohstoffen möglich ist, verbunden mit sprunghaften Preissteigerungen. Damit muss nicht zwingend eine Änderung der Rohstoffnachfrage verbunden sein. Wäre dies eine Voraussetzung, wären Terminmärkte als „Frühwarnsystem“ wenig brauchbar. Es müssen die Marktteilnehmer nur erwarten, dass dies eintreten könnte, um entsprechende Reaktionen der Terminmärkte auszulösen.

Die Terminmärkte erfüllen daher sehr wichtige Funktionen. Ohne die hier agierenden Hedge-Fonds und Spekulanten würden die Rohstoffmärkte nicht funktionieren. Sie sind es nämlich, die dem Markt Liquidität zuführen und zeitliche, räumliche und volumenmäßige Marktungleichgewichte zwischen Angebot und Nachfrage ausgleichen. Daher sind sie für die Sicherstellung der Funktionsfähigkeit der Rohstoffmärkte von erheblicher Bedeutung. So kann beispielsweise eine Mine, die heute zehn Tonnen eines Rohstoffs verkaufen möchte, mittels der Terminmärkte den Rohstoffbedarf eines Hüttenwerks in Höhe von zwei Tonnen in drei Monaten und des Elektronikkonzerns in Höhe von acht Tonnen in sechs Monaten bedienen, wobei es keine direkte Beziehung zwischen Anbieter und Nachfrager geben muss.

Aufgrund der Funktionsweise der Warenterminbörsen kann es auf den Rohstoffmärkten auch nicht zu einem faktischen Ausfall der physischen Angebotsmenge etwa aufgrund von Marktinterventionen kommen. Auch die großen Rohstoffhandelsunternehmen, wie z.B. Glencore oder Rio Tinto, die für die Lieferung der physischen Rohstoffe verantwortlich sind, bedienen sich der Warenterminbörsen, so wie auch viele rohstoffnachfragende Unternehmen ihren Rohstoffbedarf durch Termin-

kontrakte absichern. Strategisches Marktverhalten ist auf Rohstoffmärkten zwar regelmäßig zu beobachten, es gibt aber nur wenige Marktsituationen, in denen es tatsächlich dazu kam, dass die physische Nachfrage auf einem Rohstoffmarkt einmal nicht bedient werden konnte. Eines der wenigen Beispiele dafür, dass es einmal zu einer faktischen physischen Knappheit auf einem Rohstoffmarkt gekommen ist, war Ende der 1970er-Jahre die sogenannte Hunt-Spekulation auf dem Silbermarkt (siehe den grauen Kasten; in Anlehnung an Dehio 2020: 57ff.).

Die Hunt-Spekulation

Angelockt von den in den 1970er-Jahren steigenden Silberpreisen, einer zunehmend schwieriger werdenden Versorgungssituation auf dem Silbermarkt, dem schwindenden Vertrauen in den Papiergeldstandard und steigender Inflationsraten begannen sich Investoren verstärkt für den Silbermarkt zu interessieren, darunter auch Nelson Bunker Hunt, seinerzeit der reichste Mann der Welt. Durch Käufe des als inflationssicher geltenden Silbers wollte er sein Vermögen sichern. Seine Strategie bestand darin, Silber über die Terminmärkte zu kaufen und es mit Hilfe von viel Fremdkapital und weiterer Investoren gezielt zu verknappen, um den Preis in die Höhe zu treiben. Er nahm dadurch billigend in Kauf, dass die Funktionsfähigkeit des Marktes untergraben und das Weltfinanzsystem gefährdet wurde.

Der Silberpreis stieg somit bis Anfang des Jahres 1980 auf über 50 US-\$, dem mehr als 40-fachen des Preises von Mitte der 1960er-Jahre. Nach entsprechenden Krisensitzungen der Börsenaufsicht, in die auch die US-Notenbank Fed eingebunden war, entschloss sich die New Yorker Warenterminbörse COMEX dazu, dass bei Silber keine neuen Terminmarktverträge mehr eröffnet werden durften, sondern diese nur noch geschlossen werden konnten, woraufhin der Silberpreis wieder deutlich sank. Aufgrund des massiven Vertrauensverlusts setzte daraufhin auf dem Silbermarkt eine fast zwei Jahrzehnte andauernde Baisse ein.

Derartige Versuche, enge Märkte für solche Marktmanipulationen zu nutzen, hat es in der Folge zwar immer wieder mal gegeben, zu so weitreichenden Folgen wie im Zuge der Hunt-Spekulation führte dies aber meist nicht, zumindest nicht auf Rohstoffmärkten. Gleichwohl sind die Terminmärkte gegen solche Manipulationen nicht gänzlich gefeit. Auf engen Rohstoffmärkten können daher zusammen mit dem Einsatz von Derivaten und viel Fremdkapital sehr hohe Hebeleffekte erzielt werden, was mitunter Probleme bereiten kann.

Diese Finanzmarktinterventionen müssen aber getrennt betrachtet werden von Marktinterventionen und strategischem Marktverhalten von Rohstoffländern. Bezüglich letzterem stehen einige Förderländer immer mal im Fokus. Das ist insbesondere dann relevant, wenn diese Länder eine erhebliche Wirtschaftskraft besitzen, große Rohstoffvorkommen haben und selbst viele Rohstoffe verbrauchen. Ein solches Land ist beispielsweise China, das bei vielen Rohstoffen hohe Anteile an den weltweiten Vorkommen wie auch der Förderung auf sich vereinigt. China hat sich zudem bei vielen Rohstoffunternehmen außerhalb des Landes strategische Beteiligungen gesichert, sodass es auf einigen Rohstoffmärkten inzwischen eine marktbestimmende Position einnimmt. Vor diesem Hintergrund stellt sich die Frage, was das in Hinblick auf die Sicherstellung der Funktionsfähigkeit der Rohstoffmärkte bedeutet und welche preisverzerrenden Wirkungen davon ggf. ausgehen könnten, woraus sich dann möglicherweise Handlungsbedarf seitens der WTO oder der EU ableiten ließe.

Rohstoffvorkommen sind aus geologischen Gründen weltweit sehr unterschiedlich verteilt. Zwar kommen fast alle Rohstoffe, egal ob Platingruppenmetalle, Edelmetalle oder Seltenerdenmetalle, nahezu überall in der Erdkruste vor, allerdings sind die Konzentrationen meist so gering, dass ein Abbau aus Gründen der Wirtschaftlichkeit nicht in Betracht kommt. Ein wirtschaftlich darstellbarer Abbau erfordert eine ausreichende Anreicherung der Rohstoffe, was aber selten und nur unter ganz besonderen geologischen Voraussetzungen der Fall ist. China ist einerseits ein sehr großes, bevölkerungsreiches und wirtschaftsstarkes Land, verfügt aufgrund günstiger geologischer Voraussetzungen aber andererseits auch über große, hoch mineralisierte Rohstoffvorkommen.

Unklar ist im Übrigen aber, inwieweit sich bei den Rohstoffen, bei denen China eine marktbestimmende Rolle einnimmt, tatsächlich Preisverzerrungen ergeben, die zu Lasten der rohstoffnachfragenden Länder gehen. Selbst bei den Seltenerdenmetallen, die für einige Zukunftstechnologien essenziell sind und bei denen China einen Marktanteil von über 80% hat, ist dies nicht eindeutig zu klären. Zwar gab es vor etwa zehn Jahren aufgrund von Exportrestriktionen durch China eine Krise bei den Seltenerdenmetallen, die von sehr hohen Preissteigerungen gekennzeichnet war, seitdem hat sich die Lage aber wieder spürbar entspannt, obwohl klar ist, dass die Nachfrage nach Seltenerdenmetallen in Zukunft stark steigen wird und die Entfaltung einiger Zukunftstechnologien von einer ausreichenden Versorgung mit diesen Metallen abhängig ist.

China und andere Förderländer verfügen über ausreichende Vorräte, um eine weltweit steigende Nachfrage nach verschiedenen Rohstoffen, bedingt durch die Etablierung von Zukunftstechnologien sowie das globale Bevölkerungs- und Wirtschaftswachstum, bedienen zu können. China dürfte dabei als bedeutendes Förderland in besonderer Weise daran interessiert sein, über den eigenen Bedarf hinaus auch einen Teil der weltweiten Nachfrage zu bedienen, aber auch Australien, die USA und weitere wichtige Förderländer investieren viel in die Exploration, um ihre Primärrohstoffbasis zu erhöhen. Zudem wird intensiv daran geforscht, Recyclingtechnologien zu entwickeln, um End-of-Life-Produkte besser recyceln und in der Folge vermehrt Sekundärrohstoffe einsetzen zu können.

Die Generierung dieser Nachfrage setzt aber voraus, dass sich die Zukunftstechnologien, für die beispielsweise Seltenerdenmetalle benötigt werden, in anderen Ländern auch entwickeln und etablieren können. Das würde nicht der Fall sein, wenn China durch Interventionen den Marktzugang erschweren würde. Insofern hat China ein vitales Interesse daran, dass sich eine möglichst hohe Nachfrage nach den im eigenen Land im Überfluss befindlichen Rohstoffvorkommen entwickelt. Vor diesem Hintergrund erscheint eine in eine andere Richtung gehende Strategie Chinas, die die Interessen der nachfragenden Länder konterkarieren würde, auch aus der chinesischen Interessenlage heraus wenig plausibel.

Das Beispiel der Seltenerdenmetalle sollte an dieser Stelle aber nur zeigen, welche Problematik sich hieraus für die Rohstoffpreise unter Umständen ergeben könnte. Grundsätzlich gibt es viele ähnlich gelagerte Konstellationen, die gerade bei den für die Industrie strategisch wichtigen Rohstoffen das Versorgungsrisiko der Rohstoffbeschaffung erhöhen können. In Abschnitt 3.3 wird noch aufgezeigt, dass sich die Länderkonzentration neben verschiedenen anderen Kriterien auf das Versorgungsrisiko der Rohstoffe auswirkt.

Unternehmen sichern sich häufig mittels Hedging über die Terminbörsen gegen Rohstoffpreisschwankungen ab oder gehen Liefervereinbarungen ein. Wenn Unternehmen die Rohstoffe oder Halbwaren von anderen Unternehmen beziehen, die sich ihrerseits bereits durch Warentermingeschäfte gegen Rohstoffpreisschwankungen abgesichert haben, ist dies dann nicht mehr erforderlich, da Hedging, das eine Art Versicherung gegen Preisschwankungen darstellt, auch mit Kosten verbunden ist und dessen effektiver Einsatz ein entsprechendes Know-how erfordert.

Was die heimisch geförderten Rohstoffe anbelangt, spielen bei der Preissetzung auch regionale Faktoren eine Rolle. Bei Kies und Sand, die sehr transportkostensensitiv sind, spielen naturgemäß die Logistik und die Entfernung zum Endkunden eine besondere Rolle (siehe dazu auch die Abs. 3.5 und 5.4).

Für andere heimische Rohstoffe, die auch verstärkt international gehandelt werden, wie Tone oder Salze, spielen die Weltmarktpreise wiederum eine größere, wenn auch nicht die alleinige Rolle, da auch hier häufig Liefervereinbarungen von ausschlaggebender Bedeutung sind, wenngleich sich spürbare Änderungen der Weltmarktpreise auf Dauer auch hierauf auswirken oder in den Vereinbarungen meist Klauseln zur Anpassung der Preise enthalten sind.

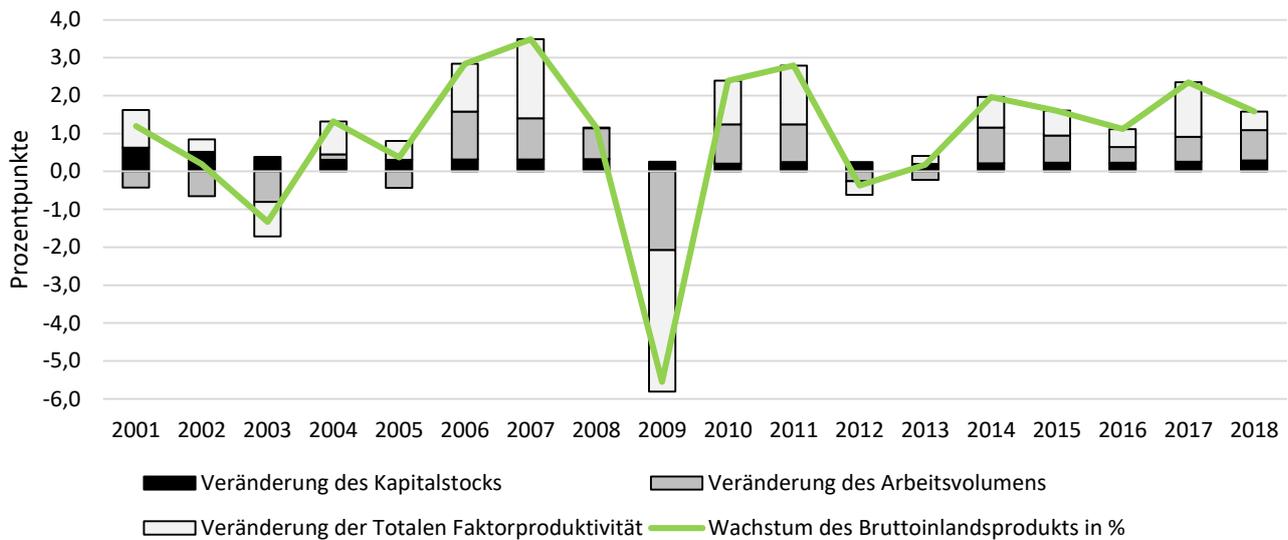
Mit Blick auf die NRW-Schlüsselindustrien (siehe dazu auch den Abs. 3.4) sind im Zusammenhang mit der Rohstoffbeschaffung auch die jeweiligen Wertschöpfungsketten und Lieferstrukturen zu bedenken. Wenn ein Industriezweig für seine Produkte bestimmte Rohstoffe benötigt, heißt das nicht, dass diese auch direkt vom entsprechenden Industriezweig beschafft werden. Zwar wird hier die letztendliche Nachfrage nach diesen Rohstoffen generiert, häufig werden aber die in den Produkten enthaltenen Rohstoffe zunächst von Unternehmen aus anderen Branchen bezogen und verarbeitet. Der Bezug und die Verarbeitung der Rohstoffe verteilt sich somit auf mehrere Industriezweige. Demzufolge verteilen sich auch die Rohstoffpreissrisiken auf mehrere Wirtschaftszweige, wobei letztendlich aber der Endverbraucher die damit verbundenen Kosten tragen muss, da diese Risiken in den jeweiligen Produktpreisen zum Ausdruck kommen.

3.2 Wirtschaftswachstum und Entwicklung der Rohstoffintensität

Mögliche Szenarien für die mittelfristige wirtschaftliche Entwicklung in NRW lassen sich mithilfe des Produktionsfunktionsansatzes herleiten. Dieser Ansatz hat sich für die Projektion und Analyse der mittelfristigen Wachstumsperspektiven von Volkswirtschaften etabliert und wird beispielsweise von der Europäischen Kommission (Havik et al. 2014) und der Bundesregierung (2021) nicht zuletzt für die Beurteilung der Fiskalpolitik regelmäßig genutzt.² Das Produktionspotenzial einer Volkswirtschaft ergibt sich demnach aus der (potenziel-

len) Verfügbarkeit der volkswirtschaftlichen Produktionsfaktoren Arbeit und Kapital sowie der gesamtwirtschaftlichen Produktivitätsentwicklung infolge des technischen Fortschritts. Wie bei den genannten Projektionen üblich, wird für die Aggregation der Produktionsfaktoren eine Cobb-Douglas-Produktionsfunktion mit konstanten Skalenerträgen verwendet.³ Mithilfe des Produktionsfunktionsansatzes lässt sich die Entwicklung des preisbereinigten Bruttoinlandsprodukts (BIP) in die Beiträge der Komponenten zerlegen (Abb. 3.2.1).⁴

Abb. 3.2.1: Beiträge zum Wachstum des Bruttoinlandsprodukts in NRW



Eigene Darstellung und Berechnungen in Anlehnung an Gillmann et al. (2019) und Schmidt et al. (2020).

Dabei zeigt sich, dass die drei Komponenten in den vergangenen Jahren in unterschiedlichem Maße zum Wachstum der nordrhein-westfälischen Volkswirtschaft beigetragen haben. Während vom Wachstum des Kapitalstocks kontinuierlich positive Wachstumsbeiträge ausgingen, zeigt sich bei den Beiträgen des Arbeitsvolumens und der Totalen Faktorproduktivität (TFP) eine heterogenere Entwicklung über die Zeit. Im Durchschnitt des betrachteten Zeitraums der Jahre 2000 bis 2018 wuchs das BIP jährlich um 1,0%. Das durchschnittliche Wachstum des Kapitalstocks lag bei 0,9%, das der TFP bei 0,4%. Das Arbeitsvolumen stieg durchschnittlich um 0,3%.

Für die mittelfristige künftige Entwicklung lässt sich ein Szenario aus den trendmäßigen Entwicklungen der Variablen in der Vergangenheit ableiten. Diese lassen konjunkturelle Schwankungen weitgehend außen vor. Für die Projektion wird etwa für den Kapitalstock und das Produktivitätswachstum jeweils statistisch ein Trend bestimmt und für den Projektionszeitraum fortgeschrieben.⁵ Für die Fortschreibung des Arbeitsvolumens ist dessen Zerlegung sinnvoll, um die zugrundeliegenden Entwicklungen genauer zu erfassen. So stieg die Anzahl der Erwerbstätigen in NRW im Zeitraum 2000 bis 2018 mit einem jahresdurchschnittlichen Wachstum von 0,6% deutlich stärker als das Arbeitsvolumen, also die von den Erwerbstätigen ins-

² Vgl. Barabas et al. (2020) für die jüngste Mittelfristprojektion des RWI für Deutschland.

³ $Y = ZL^\alpha K^{(1-\alpha)}$, wobei Y das Bruttoinlandsprodukt bezeichnet, L das Arbeitsvolumen und K den Kapitalstock. Z ist die Totale Faktorproduktivität (TFP) und α die Produktionselastizität des Faktors Arbeit. Für diese wird vereinfachend der auch im Verfahren der Europäischen Kommission für die Mitgliedstaaten verwendete Standardwert von 0,65 angenommen. Gillmann et al. (2019) schätzen anhand der Quote der Arbeitseinkommen für NRW für den Zeitraum 1996 bis 2017 einen durchschnittlichen Wert von 0,63.

⁴ Für die Berechnungen wird auf die Daten der Volkswirtschaftlichen Gesamtrechnungen (VGR) der Länder zurückgegriffen. Während

die Daten zum BIP und zum Arbeitsvolumen derzeit bis zum Jahr 2019 vorliegen, liegen für Kapitalstock und Investitionen lediglich Daten bis zum Jahr 2016 bzw. bis zum Jahr 2018 vor. Für die Jahre 2017 und 2018 wird der Kapitalstock deshalb unter Einbeziehung der Investitionen fortgeschrieben. Die Daten für den Kapitalstock entsprechen zudem noch nicht der VGR-Revision 2019. Insofern sollten die gezeigten Ergebnisse als Approximation verstanden werden.

⁵ Vereinfachend wird jeweils die Trendkomponente der Zeitreihen für den Zeitraum der Jahre 2000 bis 2018 mittels des HP-Filters bestimmt und mit der durchschnittlichen jährlichen Wachstumsrate der letzten fünf Jahre fortgeschrieben.

gesamt geleisteten Arbeitsstunden. Die durchschnittliche Anzahl der Stunden je Erwerbstätigen ging entsprechend über die Jahre zurück.

Die weitere Entwicklung der Anzahl der erwerbstätigen Personen wird von verschiedenen Faktoren beeinflusst. Zum einen bestimmt die demografische Entwicklung die Anzahl der Personen im erwerbsfähigen Alter. Zum anderen können Entwicklungen insbesondere auf dem Arbeitsmarkt dazu führen, dass sich wichtige Größen ändern, wie z.B. die Erwerbslosen- und die Partizipationsquote. Für die Projektion der weiteren Entwicklung des Arbeitsvolumens bildet die Bevölkerungsvorausberechnung, welche die Szenarien für die absehbare demografische Entwicklung in NRW liefert, einen entsprechend wichtigen Input.⁶ Laut der Basisvariante der Vorausberechnungen dürfte die NRW-Bevölkerung in den kommenden Jahren zunächst noch weiter steigen, aufgrund der Alterung der Bevölkerung der Anteil der Personen im erwerbsfähigen Alter und die Anzahl der Personen in diesem Alter aber spätestens ab dem Jahr 2024 zurückgehen.⁷

Ausgehend von der Bevölkerungsentwicklung müssen weitere Annahmen getroffen werden, um das künftige Arbeitsvolumen abzuleiten. Die Entwicklung der vergangenen Jahre zeigt einen deutlichen Anstieg der Arbeitsmarktpartizipation der Bevölkerung in NRW. Die Erwerbsquote der 15 bis 74-Jährigen stieg von 2005 bis 2019 kontinuierlich von 61% auf 68%. Besonders stark war dabei der Anstieg der Erwerbsbeteiligung der Frauen. Während diese trendmäßige Entwicklung für einen weiteren Anstieg der Erwerbstätigkeit spricht, gibt es jedoch auch Faktoren, die den Anstieg dämpfen könnten.

Hierzu zählt erneut die demografische Entwicklung. Zwar stieg auch in der Gruppe der über 60-Jährigen die Erwerbsbeteiligung, sie liegt aber noch immer spürbar unter derjenigen in den jüngeren Altersgruppen. Diese zumindest teilweise strukturell bedingten Unterschiede führen dazu, dass mit einem zunehmenden Anteil der Bevölkerung in den älteren Altersgruppen die Arbeitsmarktpartizipation tendenziell niedriger ausfallen dürfte. Für das Basisszenario der Projektion wird trotzdem angenommen, dass sich der trendmäßige Anstieg der potenziellen Erwerbsquote linear fortsetzt, sodass sie bis zum Jahr 2035 auf rund 75% ansteigt.⁸

Die Erwerbslosenquote in der Altersgruppe der 15 bis 74-Jährigen ist von 2005 bis 2019 stark gesunken, und zwar von 10,4% auf 3,5%. Da sie sich damit im Jahr 2019 bereits auf einem sehr niedrigen Niveau befunden hat, wird hier kein weiterer trendmäßiger Rückgang, sondern eine konstante, als strukturell interpretierte trendmäßige Erwerbslosenquote angenommen. Bei den Arbeitsstunden je Erwerbstätigen wird ein

logarithmischer Trend angenommen und im Projektionszeitraum fortgeschrieben. Entsprechend setzt sich der Rückgang der Arbeitsstunden, der nicht zuletzt durch eine Zunahme von Teilzeitbeschäftigung bedingt ist, annahmegemäß im Projektionszeitraum weiter fort.

Im Gegensatz zur Potenzialschätzung für Deutschland insgesamt, erfordert die Schätzung für ein einzelnes Bundesland noch weitere Annahmen bei der Datenaufbereitung. So liegen die Daten der Bevölkerungsstatistik und des Mikrozensus zur Erwerbsbeteiligung jeweils für die Bevölkerung am Wohnort vor. Insbesondere aufgrund der Pendlerströme der Erwerbstätigen weicht die so ermittelte Zahl der Erwerbstätigen in NRW jedoch von der in den Volkswirtschaftlichen Gesamtrechnungen berücksichtigten Erwerbstätigen am Arbeitsort ab. Vereinfachend wird deshalb bei den Berechnungen unterstellt, dass sich die Anzahl der Erwerbstätigen mit einem Arbeitsort in NRW und diejenige der Erwerbstätigen mit einem Wohnort in NRW trendmäßig in etwa gleich entwickeln dürfte. Änderungen in diesem Verhältnis könnten sich hingegen ergeben, wenn die strukturelle Entwicklung der Wirtschaft oder die demografische Entwicklung in NRW deutlicher vom Rest der Bundesländer abweichen würde.⁹

In dem beschriebenen Szenario der Projektion würde das Produktionspotenzial in NRW im Zeitraum der Jahre von 2019 bis 2035 durchschnittlich mit 0,9% im Jahr wachsen. Dabei würde das Potenzialwachstum aufgrund des demografisch bedingten schwächeren Anstiegs des Arbeitsvolumens im Lauf des Projektionszeitraums zurückgehen (Abb. 3.2.2). Die dargestellte Projektion stellt ein mögliches Szenario für die weitere Entwicklung der Wirtschaft in NRW dar. Der Ausblick, gerade über einen so langen Zeithorizont, ist jedoch mit einer erheblichen Unsicherheit behaftet. Abweichungen von den unterstellten Entwicklungen könnten zu einem (deutlich) höheren oder niedrigeren Wachstum führen.

So könnten sich die Bevölkerungszahlen etwa aufgrund einer anderen tatsächlichen Migrationsentwicklung anders entwickeln. Gleichzeitig besteht eine Unsicherheit über die künftige Entwicklung auf dem Arbeitsmarkt. Die Arbeitsmarktpartizipation hängt dabei von vielen Faktoren ab, die teilweise von der Politik beeinflusst werden können. Eine von der Projektion abweichende Entwicklung der Investitionen könnte beispielsweise dazu führen, dass das schwächere Wachstum des Arbeitsvolumens teilweise durch eine erhöhte Kapitalintensität ausgeglichen wird. Umgekehrt könnten schwächere Investitionen zu einem geringeren Potenzialwachstum führen. Nicht zuletzt könnte sich die für das Potenzialwachstum bedeutende gesamtwirtschaftliche Produktivität stärker oder schwächer entwickeln als in dem Szenario unterstellt.

⁶ Basisvariante der Bevölkerungsvorausberechnung 2018 bis 2040 bzw. 2060 von IT.NRW.

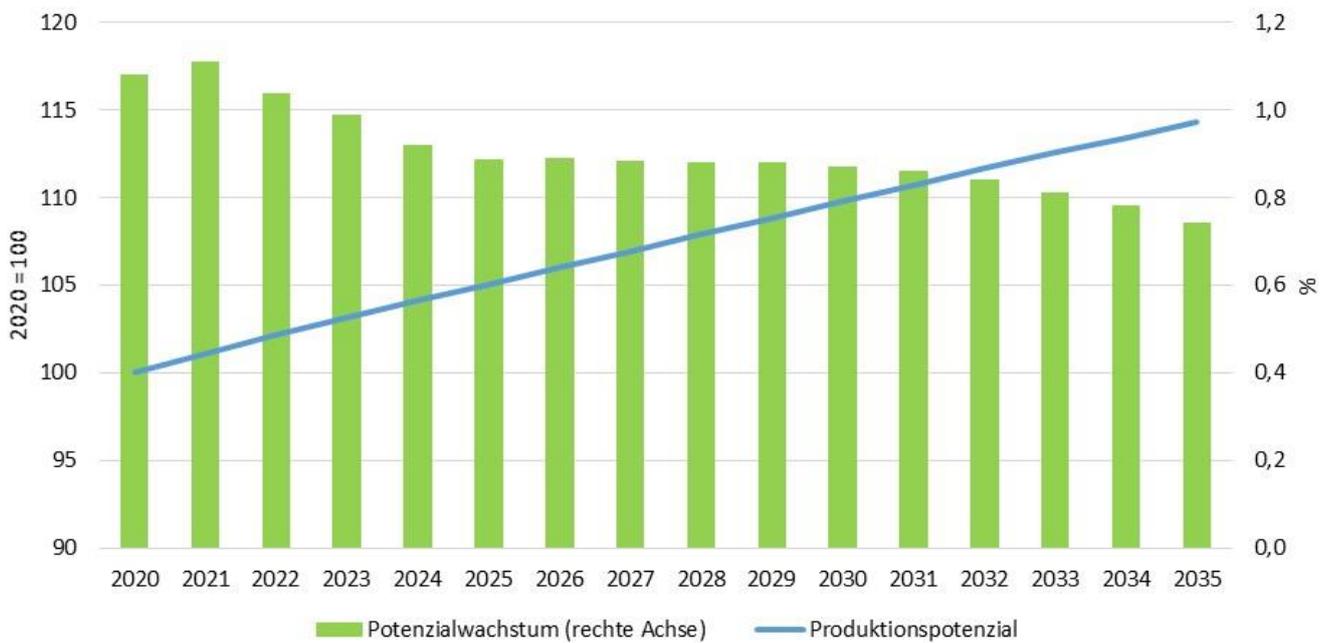
⁷ Als erwerbsfähiges Alter werden hier die Altersgruppen von 15 bis 74 Jahren betrachtet.

⁸ Nicht zuletzt aufgrund der Alterung der Bevölkerung könnte dieser Anstieg zu stark sein. So rechnet das Statistische Bundesamt (Destatis 2020a) in seiner Erwerbspersonenvorausberechnung in

einem Szenario steigender Erwerbsquoten der älteren Personen nur mit einem Anstieg der Erwerbsquote der 15 bis 74-Jährigen auf rund 71% im Jahr 2040.

⁹ Gillmann et al. (2019) betrachten alle Bundesländer und berücksichtigen Daten zu den Pendlerströmen der sozialversicherungspflichtig Beschäftigten, um die gesamten Pendlerbeziehungen der Erwerbstätigen in der Vorausberechnung zu approximieren.

Abb. 3.2.2: Projektion der Entwicklung des Produktionspotenzials



	Kapitalstock	Arbeitsvolumen	TFP	Bruttoinlandsprodukt
2019 bis 2035	0,7% p.a.	-0,3% p.a.	0,5% p.a.	0,9% p.a.

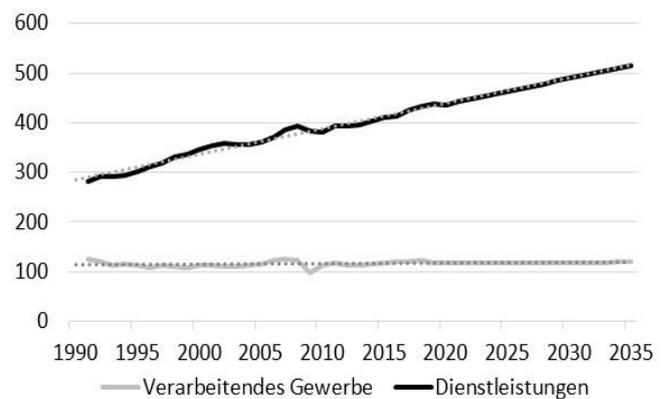
Eigene Darstellung und Berechnungen nach Angaben der VGR.

Zusammenfassend ist festzuhalten, dass das Wirtschaftswachstum in NRW in den zurückliegenden zwei Jahrzehnten von den Investitionen, dem Arbeitseinsatz und dem technischen Fortschritt gleichermaßen getragen wurde. Die künftige Entwicklung wird sich in NRW demografisch bedingt aber abschwächen: Bis 2035 dürfte der Beitrag des Kapitalstocks zum Potenzialwachstum bei durchschnittlich 0,7% liegen und der des technischen Fortschritts 0,5% betragen. Das Arbeitsvolumen wird das Wachstum dagegen um 0,3% bremsen.

Die Frage stellt sich, wie sich diese wirtschaftliche Entwicklung auf die Rohstoffnachfrage ausgewirkt hat bzw. sich künftig noch auswirken wird. Hierzu sollte man sich zunächst einmal vergegenwärtigen, von welchem Wirtschaftsbereich das Wirtschaftswachstum in NRW – aber nicht nur hier – in erster Linie getragen wird.

Abbildung 3.2.3 ist zu entnehmen, dass dafür weitgehend die Dienstleistungsbereiche verantwortlich waren, während das Verarbeitende Gewerbe, also die Industrie, seit Beginn der 1990er-Jahre stagnierte. Diese Trends dürften sich fortsetzen: NRW-Dienstleistungsbereiche werden weiter steigen und die NRW-Industrie im Prognosezeitraum, in etwa auf dem heutigen Niveau stagnieren. Dies ist für den künftigen Rohstoffbedarf von NRW insofern von zentraler Bedeutung, da der überwiegende Teil der Rohstoffnachfrage auf die Industrie entfällt, insbesondere die NRW-Schlüsselindustrien. Auf den Rohstoffbedarf von NRW wirkt sich diese Stagnation der Industrie somit dämpfend aus.

Abb. 3.2.3: Wertschöpfung im Verarbeitenden Gewerbe und bei den Dienstleistungen, in Mrd. €



Eigene Darstellung und Berechnungen nach Angaben der VGR.

Bevor die künftige Entwicklung der Rohstoffnachfrage näher betrachtet wird, soll zunächst aufgezeigt werden, wie sich die Rohstoffintensität in NRW seit Mitte der 1990er-Jahre im Vergleich zu Deutschland insgesamt entwickelt hat. Die Rohstoffintensität bringt zum Ausdruck, wie hoch der Rohstoffeinsatz zur Erzielung der Wirtschaftsleistung ist. Wie die Rohstoffintensität berechnet wird und welche Komponenten hierin im Einzelnen berücksichtigt werden, ist den Ausführungen in dem folgenden grauen Kasten zu entnehmen.

Berechnung der Rohstoffintensität

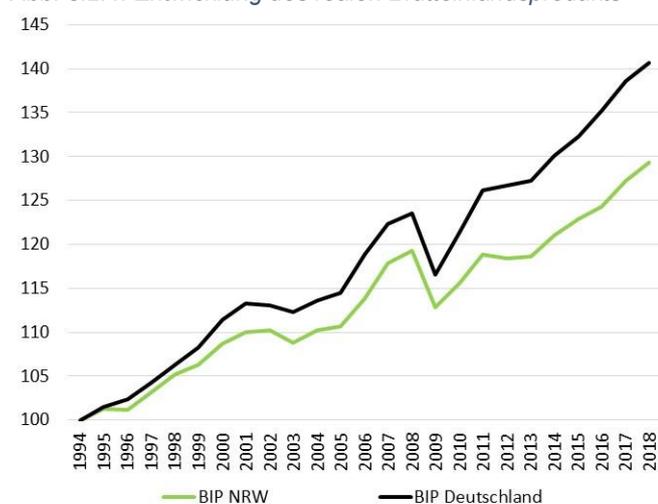
Die Rohstoffintensität entspricht der Division des physischen Rohstoffeinsatzes (in Tonnen) durch das reale Bruttoinlandsprodukt (in €). Der Rohstoffeinsatz ergibt sich dabei aus der Entnahme mineralischer Rohstoffe (also der inländischen Rohstoffproduktion). Zur Berechnung der Rohstoffintensität wird der Rohstoffeinsatz zuzüglich der Importe von mineralischen Rohstoffen und Halbwaren sowie abzüglich der Exporte von mineralischen Rohstoffen und Halbwaren betrachtet. Bei der Berechnung der Rohstoffintensität für ein Bundesland muss zusätzlich der Saldo des Intrahandels mit Rohstoffen mit den anderen Bundesländern hinzugefügt werden (für Deutschland insgesamt bleibt der Intrahandel unwirksam und liegt daher bei 0).

Zu bedenken ist jedoch, dass der Intrahandel nur für die abiotischen Rohstoffe insgesamt ausgewiesen wird, d.h. er enthält auch die fossilen Rohstoffe, über deren Anteil sich keine genaue Aussage treffen lässt. Der Intrahandel umfasst dabei nur Güter, die über Straße oder Schiene transportiert werden, nicht dagegen über Schifftransporte oder Luftfrachten. Plausibilitätsüberlegungen legen die Vermutung nahe, dass der Anteil fossiler Rohstoffe für NRW niedriger ausfallen könnte als vermutet: Braunkohle wird innerhalb des Landes NRW gefördert und größtenteils auch hier genutzt, Steinkohle wird inzwischen vollständig importiert (wobei der Versand in andere Bundesländer überwiegend per Schiff erfolgt, wenngleich auch Bahntransporte möglich sind). Bei Gas wäre allenfalls Flüssiggas relevant (ansonsten erfolgen höchstens Durchleitungen per Gasleitung) und der Import von Erdöl erfolgt primär per Schiff über den Rhein (teilweise aber auch per Bahn, wobei für Lieferungen in andere Bundesländer vermutlich die gleichen Wege genutzt werden). Fossile Rohstoffe fallen daher zum Teil nicht ins Gewicht oder gleichen sich per Saldo aus, dennoch ist unklar, wie bedeutend sie letztendlich sind.

Die Ergebnisse zeigen, dass der Saldo des Intrahandels mit abiotischen Rohstoffen in NRW durchgängig negativ ist. Es werden demnach mehr abiotische Rohstoffe in andere Bundesländer ausgeführt als von diesen eingeführt. Das Problem ist für NRW aber, dass sich dieser negative Saldo im Zeitverlauf immer mehr verringert. Waren es 1994 noch knapp 43 Mill. Tonnen, verringerte sich der Saldo bis 2018 auf nur noch knapp 12 Mill. Tonnen. Dies hat zur Folge, dass sich die Einbeziehung des Saldos des Intrahandels dämpfend in Hinblick auf den Rückgang der Rohstoffintensität auswirkt, die dadurch also langsamer sinkt.

Im Nenner der Rohstoffintensität steht somit das reale Bruttoinlandsprodukt, das sowohl im Bundesdurchschnitt als auch in NRW im Betrachtungszeitraum im Großen und Ganzen relativ kontinuierlich gestiegen ist (Abb. 3.2.4). Während das reale BIP in NRW seit 1994 um insgesamt knapp 30% stieg, waren es im Bundesdurchschnitt 41% (hier sind allerdings die Stadtstaaten nicht enthalten, da es für diese keine Daten zum Rohstoffeinsatz gibt). Dies entspricht für NRW in diesem Zeitraum einer jahresdurchschnittlichen Wachstumsrate von 1,1%, der Bundesdurchschnitt lag bei 1,4%.

Abb. 3.2.4: Entwicklung des realen Bruttoinlandsprodukts



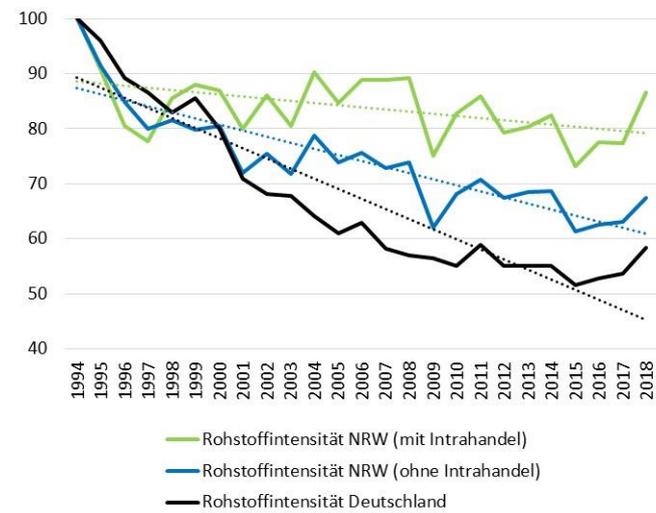
1994 = 100

Eigene Darstellung und Berechnungen nach Angaben der VGR.

Damit verzeichnete NRW die geringste Wachstumsrate der westdeutschen Flächenländer. Die zwischenzeitlichen Einbrüche nach der New-Economy-Krise 2001 und der Finanzmarktkrise 2008 sind gut zu erkennen. Dies wäre auch für die Corona-Krise 2020 der Fall, die aktuellen BIP-Daten werden hier aber nicht ausgewiesen, da die Daten für den Rohstoffeinsatz bislang nur bis zum Jahr 2018 vorliegen. Zur Berechnung der Rohstoffintensität wird, wie im grauen Kasten beschrieben, der Rohstoffeinsatz durch das BIP dividiert. NRW weist Schaubild 3.1.4 zufolge im Zeitverlauf geringere Wachstumsraten auf, als dies für den Bundesdurchschnitt der Fall ist, was sich dann zwangsläufig auch auf die Entwicklung der Rohstoffintensität auswirkte.

Da es unklar ist, in welcher Weise sich die fossilen Rohstoffe tatsächlich auf den Intrahandel auswirken, werden im Folgenden beide Intensitätsmaße ausgewiesen: die Entwicklung der Rohstoffintensität mit Berücksichtigung des Intrahandels und zusätzlich auch die ohne dessen Berücksichtigung (Abb. 3.2.5). Wie zu erkennen ist, geht die Rohstoffintensität in NRW weniger deutlich zurück als im Bundesdurchschnitt. Das geringere Wirtschaftswachstum in NRW könnte das zum Teil erklären, denn die Rohstoffintensität geht hier auch ohne Berücksichtigung des Intrahandels weniger stark zurück. Das hieße dann aber auch, dass die geringeren Wachstumsraten zu keinem entsprechend niedrigeren Rohstoffeinsatz führten. Betrachtet man den Verlauf der Rohstoffintensität in NRW im zurückliegenden Vierteljahrhundert bei Berücksichtigung des Intrahandels, hat sich diese tendenziell weniger verändert als im Bundesdurchschnitt, was die ausgewiesenen Trendlinien gut dokumentieren.

Abb. 3.2.5: Entwicklung der Rohstoffintensität mit und ohne Intrahandel

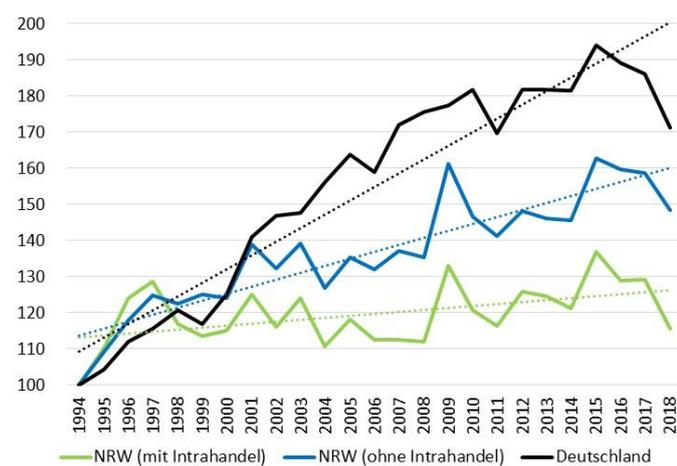


1994 = 100

Eigene Darstellung und Berechnungen nach Angaben von UGRdL (2020).

Die Zusammenhänge werden auch bei Betrachtung der Entwicklung der Rohstoffproduktivität noch einmal deutlich (Abb. 3.2.6). Die Rohstoffproduktivität entspricht der reziproken Darstellung der Rohstoffintensität. Demnach lag die Erhöhung der Rohstoffproduktivität 2018 im Bundesdurchschnitt um 71% über der von 1994, womit sie die entsprechende Rate für NRW in Höhe von 48% (ohne Intrahandel) bzw. 16% (mit Intrahandel) deutlich übertraf.

Abb. 3.2.6: Entwicklung der Rohstoffproduktivität mit und ohne Intrahandel



1994 = 100

Eigene Darstellung und Berechnungen nach Angaben von UGRdL (2020).

Bei den hier verwendeten Indikatoren der Rohstoffintensität bzw. der spiegelbildlichen Rohstoffproduktivität ist zu bedenken, dass der Rohstoffeinsatz in physischen Einheiten gemessen wird, was Vor- und Nachteile hat. Ein Vorteil ist, dass hierdurch Preiseffekte ausgeklammert werden, denn die Rohstoffmärkte sind erfahrungsgemäß preisvolatil (siehe dazu auch

den Abs. 3.1). Die hier verwendeten Intensitäts- bzw. Produktivitätsmaße sind daher nicht durch temporäre Preisbewegungen verzerrt, sondern beziehen sich auf den tatsächlichen Rohstoffeinsatz unter gleichzeitiger Berücksichtigung der heimischen Rohstoffförderung und des Außen- bzw. Intrahandels, wobei die heimische Rohstoffentnahme bzw. -förderung 2018 bei 0,7 Mrd. Tonnen lag (zum Vergleich: weltweit waren es 2020 54 Mrd. Tonnen, darunter 9 Mrd. Tonnen metallische Erze; GERRI 2021: 2f.). Der Nachteil ist allerdings, dass die Einsatzmengen der Rohstoffe einfach aufsummiert werden, ohne deren Wertigkeit mit zu berücksichtigen. Der Einsatz einer Tonne Seltenerdenmetalle wird somit dem Einsatz von einer Tonne Kies gleichgesetzt, obwohl deren Preise relativ weit auseinanderklaffen. Dieser Umstand muss bei der Interpretation der Indikatoren berücksichtigt werden.

Dennoch geben diese Indikatoren einige Tendenzen relativ gut wieder, die in den weit entwickelten Volkswirtschaften schon seit einiger Zeit zu beobachten sind. Diese gelten auch für Deutschland bzw. – auf einem strukturell bedingt noch etwas niedrigerem Niveau – für NRW. Es lässt sich auf lange Sicht betrachtet nämlich eine Tendenz zur Steigerung der Rohstoffeffizienz feststellen. Diese kommt in einem bezogen auf die Wirtschaftsleistung niedrigeren spezifischen Primärrohstoffeinsatz zum Ausdruck mit einer tendenziell sinkenden Rohstoffintensität und einer steigenden Rohstoffproduktivität. Es ist demnach also eine Tendenz zur Entkopplung von Rohstoffeinsatz und Wirtschaftswachstum zu erkennen. Die Frage ist, wie sich dies in Zukunft im Allgemeinen und speziell in NRW entwickeln wird. Soweit dies bereits heute absehbar ist, zeichnen sich die folgenden Trends ab:

- Das **Wirtschaftswachstum** wird sich in NRW u.a. demografisch bedingt leicht abschwächen. Während es im Zeitablauf von 1994 bis 2018 noch bei 1,1% p.a. lag, wird es zwischen 2020 und 2035 unserer Trendprojektion zufolge nur noch 0,9% p.a. betragen. Der Industriesektor, der hauptsächlich für den Rohstoffeinsatz verantwortlich ist, wird sogar weitgehend stagnieren, wie das anhand der obigen Trendprojektion gezeigt wurde. Wie sich das auf die in dem Zusammenhang besonders bedeutenden NRW-Schlüsselindustrien auswirkt, wird noch vertiefend thematisiert (siehe dazu auch den Abs. 3.4).
- Auf den **Rohstoffeinsatz** wird sich diese Entwicklung insgesamt dämpfend auswirken, da mit dem leicht verlangsamten Wachstum und der insgesamt stagnierenden Industrie unter Ceteris-Paribus-Bedingungen, also bei sonst konstant gehaltenen Parametern, eine Abschwächung des zusätzlichen Rohstoffbedarfs einhergehen wird, wenngleich sich bei bestimmten Rohstoffen aufgrund der Etablierung von Zukunftstechnologien teilweise stark steigende Bedarfe ergeben werden (z.B. Seltenerdenmetalle oder Batterierohstoffe; siehe dazu auch den Abs. 3.3).
- Zu erwarten ist zugleich ein weiterer Anstieg der **Rohstoffeffizienz**, also der Wirtschaftsleistung pro eingesetzter Rohstoffeinheit. Somit steigt pro eingesetzter Menge

eines bestimmten Primärrohstoffs die Produktionsmenge oder, anders ausgedrückt, bei einer konstanten Produktionsmenge sinkt der Primärrohstoffeinsatz.

- Primärrohstoffe werden künftig aber auch in zunehmendem Maße durch **Sekundärrohstoffe** substituiert werden. Dies wird auf drei Wegen erfolgen (siehe dazu auch die Abs. 4 und 5): (1) einer Verbesserung der Recyclingfähigkeit der neu erstellten Produkte (*zirkuläres Design*), (2) einer Erhöhung des zur Verfügung stehenden Sekundärmaterials durch z.B. die Steigerung der Sammelquoten von End-of-Life-Produkten oder der Verringerung von (illegalen) Schrottexporten und (3) einer nachhaltigen Verbesserung der Recyclingtechnologien sowie einem Ausbau der Recyclingkapazitäten.
- Alles in allem werden bis zum Jahr 2035 die verschiedenen **Stoffkreisläufe** wesentlich stärker geschlossen worden sein, als dies derzeit bereits der Fall ist. NRW kann hier wesentliche Impulse setzen und dadurch auch dazu beitragen, die bisherige Wachstumsschwäche durch die Transformation zu einer nachhaltigeren Wirtschaftsweise zu überwinden und zugleich die derzeit noch große Abhängigkeit von Primärrohstoffimporten zu verringern. Dennoch wird es bis dahin und auch darüber hinaus wichtig bleiben, dass die Lieferketten des Primärrohstoffbezugs bestehen bleiben sowie abgesichert und weiter diversifiziert werden. Dies ist zwar in erster Linie eine Aufgabe der primärrohstoffnachfragenden Unternehmen, sollte bei Bedarf aber durch geeignete Maßnahmen der NRW-Landesregierung flankiert werden.

- Eine **geschlossene Kreislaufwirtschaft** dürfte gleichwohl eine Utopie bleiben, weil es auch künftig einen Bedarf geben wird, weiterhin Primärrohstoffe einzusetzen, da es im Zuge von Recyclingprozessen selbst bei verbesserten Technologien immer noch Verluste geben wird, Produkte vermutlich nie vollständig recycelbar sein werden und Rohstoffe zudem lange in Produkten gebunden sind oder durch Warenexporte dem eigenen Einflussbereich entzogen werden (und durch Warenimporte neu hinzukommen). Dennoch ist es gerade für NRW sinnvoll, gleichzeitig in Bezug auf die heimische Primärrohstoffförderung und in Richtung der Etablierung einer Kreislaufwirtschaft verstärkt Aktivitäten zu entfalten. Sowohl bei der Primärrohstoffgewinnung als auch bei der Förderung der Kreislaufwirtschaft sollte NRW nach Möglichkeit eine Voreiterrolle einnehmen, da sich beides perspektivisch für das Land auszahlen dürfte.

NRW hat, wenn auch in geringerem Maße als das im Bundesdurchschnitt der Fall war, die Rohstoffintensität bereits gesenkt, was zeigt, dass sich im zurückliegenden Vierteljahrhundert ein Trend verfestigt hat, die Rohstoffnachfrage vom Wirtschaftswachstum abzukoppeln. Alles in allem ist davon auszugehen, dass NRW seine Rohstoffintensität künftig stärker als bislang reduzieren wird. Aus Sicht der Rohstoffversorgung wird sich zwar der Bedarf nach einigen risikobehafteten Rohstoffen erhöhen, insgesamt dürfte sich der Bedarf an importierten Primärrohstoffen aber verringern. Bei den Primärrohstoffen aus heimischer Förderung ist dies aufgrund der anstehenden hohen Infrastrukturinvestitionen hingegen differenziert zu betrachten (siehe dazu auch den Abs. 3.5).

3.3 Entwicklung der Rohstoffimporte sowie Risiken der Importrohstoffe und ihre Relevanz für NRW

Entwicklung der Rohstoffimporte

Ähnlich wie für die Rohstoffintensität attestiert werden konnte (siehe dazu auch den Abs. 3.2), ist auch für die physischen Rohstoffimporte ein rückläufiger Trend festzustellen. Der Rückgang seit 1994 übertraf dabei mit mehr als 15% in NRW sogar den Bundestrend (Abb. 3.3.1).

Abb. 3.3.1: Importe mineralischer Rohstoffe

Jahr	Nordrhein-Westfalen (Index)	Deutschland (Index)
1994	100	100
1995	102	101
1996	93	98
1997	98	95
1998	95	96
1999	84	94
2000	104	98
2001	84	90
2002	95	91
2003	86	86
2004	98	94
2005	90	90
2006	95	92
2007	101	98
2008	98	95
2009	68	74
2010	93	92
2011	91	90
2012	84	88
2013	84	88
2014	89	93
2015	88	91
2016	87	90
2017	86	91
2018	83	89

in physischen Einheiten; 1994 = 100

Eigene Darstellung nach Angaben von UGRdL (2020).

Der Wert der deutschen Importe von Metallen und Nichtmetallen, aus dem die gesamtwirtschaftliche Bedeutung der Rohstoffimporte abgeleitet werden kann, lag im Jahr 2019 bei insgesamt 75 Mrd. € (Metalle) bzw. 4 Mrd. € (Nichtmetalle), jeweils einschließlich Halbwaren (BGR 2020: 11). Die Rohstoffimporte entsprachen damit 7,2% der gesamten Warenimporte und 1,3% des gesamtwirtschaftlichen Produktionswertes. Zugleich wurden aber auch 60 Mrd. € (Metalle) bzw. 3 Mrd. € (Nichtmetalle) exportiert, ebenfalls einschließlich Halbwaren (BGR 2020: 11). 2019 wurden 86 Mill. Tonnen Metalle und 31 Mill. Tonnen Nichtmetalle eingeführt (der Durchschnittspreis der Metalle war demnach fast achtmal so hoch wie der der Nichtmetalle) sowie 44 Mill. Tonnen Metalle und 46 Mill. Tonnen Nichtmetalle ausgeführt (BGR 2020: 12).

Das bedeutet, dass nur etwa die Hälfte der Metalle wieder exportiert wurde, allerdings in weiterverarbeiteter Form und einer damit verbundenen höheren Wertschöpfung (z.B. durch Raffinade). Die übrigen Metalle werden zur Produktion von Fertigwaren verwendet, entweder für die inländische Verwendung oder den Export. Die mengenmäßig höheren Exporte der Nichtmetalle hängen damit zusammen, dass hierin auch exportierte heimisch geförderten Rohstoffe enthalten sind.

Rohstoffe werden aber nicht nur in Form von Erzen, Konzentraten, Verbindungen oder Halbwaren eingeführt, sondern auch in Fertigwaren, in denen ebenfalls Rohstoffe enthalten sind. Bei den Metallen macht der direkte Import als Rohstoff nur ca. 30% aus, 45% werden in Form von Halbwaren und

25% in Form von Fertigwaren eingeführt (Bardt et al. 2013: 7). Der tatsächliche Import von Rohstoffen geht demnach um etwa ein Drittel über das Ausmaß der – einschließlich Halbwaren – statistisch ausgewiesenen Rohstoffeinfuhren hinaus. Da Rohstoffe auch in Form von Fertigprodukten exportiert werden, gehen die Rohstoffexporte ebenfalls über das Ausmaß der statistisch ausgewiesenen Rohstoffausfuhren hinaus.

Die Relevanz von Rohstoffen lässt sich jedoch nicht alleine anhand ihres Anteils am gesamtwirtschaftlichen Produktionswert ermessen, da das deren tatsächlicher Bedeutung nicht gerecht würde. Rohstoffe stehen am Anfang der Wertschöpfungskette und sind für die Güterproduktion essenziell. Stehen sie nicht zur Verfügung, ist die Wertschöpfungskette gleich zu Beginn unterbrochen und es kommt gar nicht zur Herstellung der Fertigprodukte. Die Versorgungssicherheit der Rohstoffe in Bezug auf Menge und Preis hat daher zentrale Bedeutung und kommt in deren Risikoeinschätzung zum Ausdruck.

Bestimmung des Risikoprofils der Importrohstoffe

Bei den Rohstoffrisiken ist zwischen dem Versorgungsrisiko eines Rohstoffs und der Vulnerabilität zu unterscheiden (VDI 2018). Der Bestimmung des Versorgungsrisikos liegen geologische, technologische, strukturelle, regulatorische und ökonomische Kriterien zugrunde. Vulnerabilität ist die Anfälligkeit von Unternehmen für Versorgungsengpässe bei Rohstoffen. Sie hängt von dem Grad der Betroffenheit (Bedarfsmenge, Einkaufswert) sowie strategischen (Substitutionsmöglichkeiten, Beschaffungsstrategien) und operativen Anpassungsmöglichkeiten ab (Verhandlungspotenzial, Bevorratung).

Die Risikoanalysen für die vorliegende Studie lehnen sich an Ansätze verschiedener Studien an: „Trends der Angebots- und Nachfragesituation bei mineralischen Rohstoffen“ (RWI, ISI und BGR 2006), „Analyse kritischer Rohstoffe für die Landesregierung Baden-Württemberg“ (UMSICHT und iswa 2014), „Rohstoffe für Zukunftstechnologien 2016“ (DERA 2016), „DERA-Rohstoffliste 2019: Angebotskonzentration bei mineralischen Rohstoffen und Zwischenprodukten – potenzielle Preis- und Lieferrisiken“ (DERA 2019), „Rohstoffsituation der bayerischen Wirtschaft“ (IW und vbw 2019), „Critical Raw Materials for Strategic Technologies and Sectors in the EU – A Foresight Study“ (European Commission 2020a).

Darauf gestützt wurden Kriterien ausgewählt, mit deren Hilfe eine Risikoeinschätzung der Importrohstoffe erfolgte. Das Ausmaß der Rohstoffrisiken hängt von der Höhe der Vorräte, der (künftigen) Nachfrageentwicklung, der Konzentration der Förderländer, deren politischer Stabilität sowie der Substituierbarkeit und Recyclingfähigkeit der Rohstoffe ab. Den einzelnen Rohstoffen wurde auf der Basis einer Auswertung der genannten Studien sowie ergänzenden Datenauswertungen dann jeweils ein hohes, mittleres oder geringes Risiko zugewiesen. Im Einzelnen flossen diese Faktoren ein:

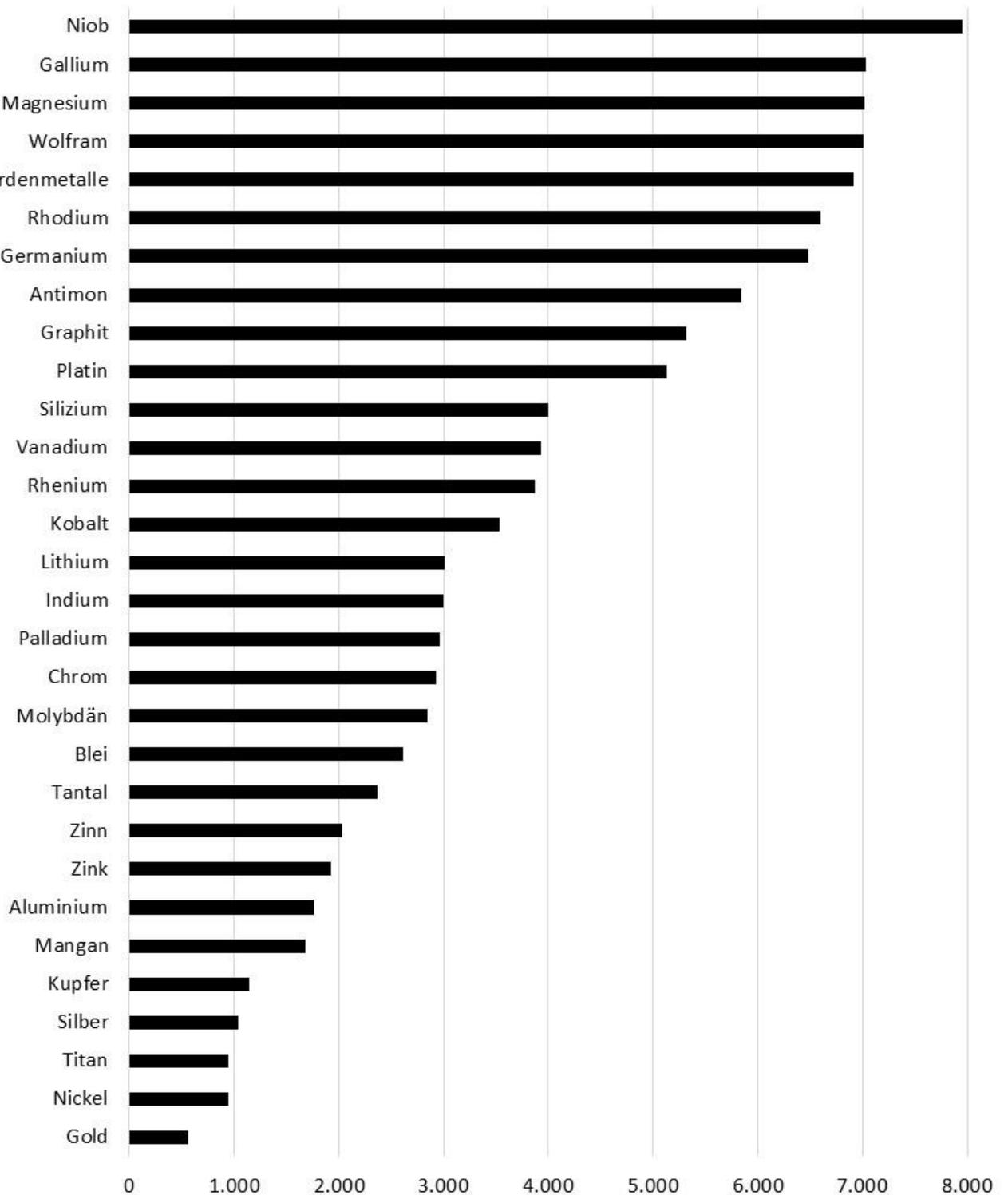
- **Vorräte:** Dies betrifft zunächst die Rohstoffreserven und die daraus resultierende statistische Reichweite (Tab. 3.3.1). Geringe statistische Reichweiten sind allerdings kein Hinweis auf versiegende Vorräte, sondern lediglich eine Indikation dafür, dass verstärkte Explorationsbemühungen vorzunehmen sind, sodass ein Teil der Ressourcen (einschließlich des Potenzials der noch unentdeckten Vorkommen) in Reserven umgewandelt werden kann, was von geologischen, technologischen, ökonomischen, logistischen und regulatorischen Faktoren beeinflusst wird (siehe dazu auch den Abs. 3.1).
- **Nachfrageentwicklung:** Die künftige Nachfrageentwicklung hängt zum einen vom Bevölkerungs- und Wirtschaftswachstum ab, zum anderen aber auch von neuen Einsatzgebieten infolge technologischer Megatrends wie der Digitalisierung, Automatisierung und Dekarbonisierung der Wirtschaft, der Elektrifizierung der Antriebe oder der Energiewende und den damit korrespondierenden Zukunftstechnologien (DERA 2016 und 2021c). Vor allem bei Seltenerdenmetallen und Batterierohstoffen übertrifft der Rohstoffbedarf, der sich im Jahr 2040 alleine aufgrund der betrachteten Zukunftstechnologien ergibt, die derzeitige weltweite Rohstoffförderung um ein Vielfaches.
- **Länderkonzentration:** Hierfür ist die Konzentration der Förderländer maßgebend, die anhand eines Konzentrationsmaßes bestimmt wird (Tab. 3.3.1 und Abb. 3.3.2). Die Werte des Herfindahl-Hirschman-Indexes werden dabei der DERA-Rohstoffliste entnommen (DERA 2019).
- **Politische Risiken:** Diese hängen von der politischen Stabilität der wichtigsten Förderländer ab (Tab. 3.3.1; DERA 2019). Je mehr wichtige Förderländer politisch instabil sind, umso höher sind die entsprechenden Risiken.
- **Substituierbarkeit:** Die Möglichkeiten, einen Rohstoff durch einen anderen substituieren zu können, sind unterschiedlich ausgeprägt (siehe dazu auch den Abs. 4).
- **Recyclingfähigkeit:** Diese hängt u.a. von den physikalischen bzw. chemischen Eigenschaften und der Verarbeitung der Rohstoffe sowie zur Verfügung stehender Recyclingtechnologien ab (siehe dazu auch den Abs. 4).

Tab.3.3.1: Bergwerksförderung, statistische Reichweite und Konzentration der Förderländer im Jahr 2018

	Bergwerksförderung in Tsd. Tonnen	Statistische Reichweite in Jahren	Land mit dem größten Förderanteil in Klammer: Anteil in %	Herfindahl-Hirschman-Index Indexwert bezüglich Bergwerksförderung	Politische Stabilität des Landes mit dem größten Förderanteil
Aluminium	288.380	über 100	Australien (29%)	1.766	1,57
Antimon	142	13	China (76%)	5.845	-0,43
Blei	4.810	18	China (49%)	2.608	-0,43
Chrom	30.100	15	Südafrika (49%)	2.927	0,21
Gallium	0,7	über 100	China (84%)	7.030	-0,43
Germanium	0,1	über 100	China (79%)	6.487	-0,43
Gold	3	16	China (14%)	565	-0,43
Graphit	1	über 100	China (72%)	5.319	-0,43
Indium	0,7	25	China (43%)	2.996	-0,43
Kobalt	111	50	Kongo (58%)	3.539	-1,57
Kupfer	20.380	40	Chile (27%)	1.140	-0,43
Lithium	40	30	Australien (38%)	3.007	1,57
Magnesium	971	über 100	China (83%)	7.016	-0,43
Mangan	56.240	12	China (27%)	1.677	-0,43
Molybdän	277	55	China (47%)	2.852	-0,43
Nickel	2.010	42	Philippinen (17%)	945	-0,35
Niob	65	60	Brasilien (88,7%)	7.953	-0,38
Palladium	0,2	über 100	Russland (39%)	2.966	-0,72
Platin	0,2	über 100	Südafrika (70%)	5.130	0,21
Rhenium	0,050	50	Chile (57,8%)	3.877	-0,43
Rhodium	0,02	über 100	Südafrika (80%)	6.603	0,21
Seltenerdenmetalle	127	über 100	China (82%)	6.921	-0,43
Silber	25	20	Mexiko (21%)	1.038	-0,26
Silizium	2.840	über 100	China (60%)	4.002	-0,43
Tantal	1,5	14	Kongo (41%)	2.365	-1,57
Titan	4.680	über 100	Südafrika (17%)	951	0,21
Vanadium	74	über 100	China (57%)	3.926	-0,43
Wolfram	86	40	China (83%)	7.007	-0,43
Zink	12.840	18	China (41%)	1.928	-0,43
Zinn	281	14	Myanmar (34%)	2.029	-0,83

Eigene Darstellung nach Angaben von DERA (2019: 44ff. und 115f.), IW und vbw (2019: 78ff.) und USGS (2021). – Anmerkung: Bei nur einem Marktteilnehmer weist der Herfindahl-Hirschmann-Index den Wert 10.000 auf, bei gleichmäßig verteilten Förderländern geht der Wert in Richtung 0; bei Werten von über 2.500 gilt die Förderländerkonzentration als hoch, bei Werten von 1.500 bis 2.500 als mittel.

Abb. 3.3.2: Ausprägungen des Herfindahl-Hirschman-Indexes als Maß für die Konzentration der Förderländer



Eigene Darstellung nach Angaben von DERA (2019: 44ff.).

Aus der Gesamtschau der verschiedenen Risikofaktoren ergibt sich schließlich die Einordnung in ein hohes, mittleres oder geringes Risiko (Abb. 3.3.3). Demnach weisen 20 Rohstoffe ein hohes und weitere 15 Rohstoffe ein mittleres Risiko auf, für die weiteren Rohstoffe wird das Risiko somit als relativ gering eingeschätzt. Die Gesamtschätzung der Risiken dieser

Rohstoffe impliziert zum einen die Höhe des möglichen physischen Versorgungsrisikos, zum anderen aber auch das Risiko möglicher deutlicher Preissteigerungen. Für ein rohstoffnachfragendes Land sind die Risiken eines bestimmten Rohstoffes dabei umso relevanter, je größer dessen wirtschaftliche und strategische Bedeutung ist.

Abb. 3.3.3: Risiko der Importrohstoffe

Rohstoff	Risikofaktoren						
	Vorräte	Nachfrageentwicklung	Länderkonzentration	Politische Risiken	Substituierbarkeit ¹	Recyclingfähigkeit ¹	Risiko insgesamt
Gesamtbewertung: hohes Risiko							
Chrom							
Dysprosium							
Gallium							
Germanium							
Graphit							
Indium							
Kobalt							
Lithium							
Mangan							
Neodym							
Palladium							
Platin							
Praseodym							
Scandium							
Silber							
Tantal							
Titan							
Wolfram							
Yttrium							
Zinn							
Gesamtbewertung: mittleres Risiko							
Aluminium							
Antimon							
Blei							
Gold							
Kupfer							
Magnesium							
Molybdän							
Nickel							
Niob							
Rhenium							
Rhodium							
Ruthenium							
Silizium							
Vanadium							
Zink							
Gesamtbewertung: geringes Risiko							
Baryt							
Beryllium							
Bor							
Diamant							
Eisen							
Feldspat							
Fluor							
Gips							
Glimmer							
Iridium							
Kadmium							
Phosphor							
Quecksilber							
Salz							
Schwefel							
Selen							
Strontium							
Wismut							
Zeolith							
Zirkon							

weiß = geringes Risiko; hellgrau = mittleres Risiko; dunkelgrau = hohes Risiko

Eigene Darstellung auf Basis umfangreicher Recherchen. – ¹Je höher die Substituierbarkeit/Recyclingfähigkeit ist, umso geringer das Risiko.

Es wird ersichtlich, dass die untertägigen Rohstoffvorräte (Reserven) für die Risikoeinschätzung nicht so entscheidend sind wie intuitiv anzunehmen wäre. Das hängt damit zusammen, dass die Reserven – sofern ausreichende Ressourcen vorhanden sind – bei Bedarf ggf. durch eine Ausweitung der Explorationsbemühungen erhöht werden können (siehe dazu auch den Abs. 3.1). Die statistischen Reichweiten der Reserven von mitunter nur wenigen Jahren bzw. Jahrzehnten sagen daher nur sehr bedingt etwas über die verbliebenen Rohstoffressourcen aus, da sie sich nur auf die bereits erschlossenen und wirtschaftlich abbaubaren Vorkommen beziehen.

Ausschlaggebender für die Einordnung der Rohstoffe in ein hohes oder mittleres Gesamtrisiko ist die Nachfrageentwicklung gepaart mit der Konzentration und politischen Stabilität der wichtigsten Förderländer. Die Substituierbarkeit und Recyclingfähigkeit der Rohstoffe wirken trendverstärkend, sind

aber letztendlich noch nicht so entscheidend, da die Substitutionsmöglichkeiten meist nur gering und die Recyclingquoten bei vielen Rohstoffen ebenfalls noch relativ niedrig sind. Letzteres sollte sich jedoch in Zukunft mehr oder weniger deutlich ändern, sodass diese Kriterien dann im Sinne eines abnehmenden Risikos an Bedeutung gewinnen werden.

Um die Betroffenheit von NRW aufzuzeigen, wurden anhand einer Auswertung der Außenhandelsstatistik für die Rohstoffe mit hohem und mittlerem Risiko die prozentualen Anteile an den gesamten Importen nach Deutschland bestimmt, die auf die nordrhein-westfälische Industrie entfallen.

Inwieweit sich hieraus verlässliche Angaben zum tatsächlichen Rohstoffeinsatz ableiten lassen bzw. welche Einschränkungen zu berücksichtigen sind, ist dem grauen Kasten zur Auswertung der Außenhandelsstatistik zu entnehmen.

Auswertung der Außenhandelsstatistik

Die Außenhandelsstatistik wird in Deutschland als Zentralstatistik als Totalerhebung vom Statistischen Bundesamt erstellt. Sie umfasst den grenzüberschreitenden Warenverkehr mit dem Ausland, Dienstleistungen sind hierin somit nicht enthalten. Die Differenzierung der Waren orientiert sich an der 8-stelligen Warennummer des Warenverzeichnisses für den Außenhandel. Für die vorliegenden Auswertungen wurde die Ausgabe 2020 des Warenverzeichnisses verwendet (Destatis 2019b). Auskunftspflichtig sind für den innergemeinschaftlichen Handel alle umsatzsteuerpflichtigen Unternehmen, für den Extrahandel (Handel mit Nicht-EU-Ländern) werden die Meldungen bei den Zollstellen ausgewertet. In Bezug auf die Aussagekraft dieser Statistik in Hinblick auf die hier vorgenommenen Auswertungen zu einzelnen Rohstoffen auf Bundes- und Landesebene sind insbesondere die folgenden Aspekte relevant:

- Die im Rahmen dieser Studie vorgenommenen Auswertungen sind auf der Bundesebene mit den entsprechenden Auswertungen des Rohstoffinformationssystems ROSYS (DERA 2021a) konsistent, da die gleichen Rohstoffe, Rohstoffverbindungen und Halbwaren einbezogen werden, die auch in ROSYS zur Darstellung der Rohstoffimporte eingehen (siehe dazu auch die entsprechende Liste in Abb. A.1 im Anhang). Die Ergebnisse sind auf Bundesebene identisch, wobei die ROSYS-Auswertungen zum Zeitpunkt der Erstellung dieser Studie nur bis 2018 erfolgten. Ergänzend wurden hier auch die Jahre 2019 und 2020 mit ausgewertet. Nach der gleichen Vorgehensweise wurden dann auch die Einfuhren der einzelnen Rohstoffe von NRW berechnet. Die Ergebnisse auf der Landesebene sind daher in Bezug auf die einbezogenen Warennummern mit denen auf der Bundesebene vergleichbar.
- Die Ergebnisse der Auswertung der Außenhandelsstatistik werden im Rahmen der durchgeführten Risikoprofile, die im Anschluss im Einzelnen vorgestellt werden, für die verschiedenen risikobehafteten Rohstoffe für den Zeitraum von 2008 bis 2020 grafisch ausgewiesen, und zwar sowohl für die Mengen als auch für die Werte der Einfuhren nach Deutschland insgesamt sowie in separaten grafischen Abbildungen für die jeweils auf NRW entfallenden Anteile.
- Bezüglich der Vollständigkeit und Authentizität der Daten müssen zunächst einmal Geheimhaltungsvorschriften berücksichtigt werden. Einzelangaben in der Außenhandelsstatistik können auf Antrag des Im- bzw. Exporteurs geheim gehalten werden (Destatis 2019a: 5). Wenn der Antrag berechtigt ist, dürfen die entsprechenden Außenhandelsdaten nicht veröffentlicht werden. Statt eines Wertes steht in der Statistik in diesem Fall ein Punkt; die Geheimhaltungsfälle werden unter der Sammelnummer „Geheimhaltung der Außenhandelsstatistik“ nachgewiesen. Diese sogenannte „passive Geheimhaltung“ kommt aber nur bei wenigen Rohstoffen zum Tragen, wie z.B. bei zwei von drei ausgewerteten Warennummern für Tantal und Vanadium sowie einer von zwei bei Lithium, jeweils dann aber für Deutschland und für NRW, sodass der jeweilige Vergleich dadurch nicht verzerrt wird.
- Bei länderspezifischen Außenhandelsdaten beziehen sich Einfuhrmengen bzw. -werte auf das jeweilige Bundesland, in dem die eingehenden Waren voraussichtlich verbleiben (Destatis 2019a: 7). Insofern kann hieraus auch auf den jeweiligen industriellen Einsatz dieser Rohstoffe geschlossen werden. Aufgrund des Rohstoffhandels kann in Einzelfällen aber – abgesehen von Veränderung bei Lagerbeständen – eine gewisse Diskrepanz zwischen der Einfuhr und dem Einsatz einzelner Rohstoffe nicht gänzlich ausgeschlossen werden. Da die Statistik sich auf die gehandelten Waren bezieht und nicht auf die Im- und Exporteure, lässt sich der Handel von Rohstoffen nicht nachvollziehen.
- Beim Extrahandel werden die Ein- und Ausfuhren vollständig erfasst, beim Intrahandel innerhalb der EU gibt es allerdings einige Antwortausfälle, die aber durch Schätzungen weitgehend ausgeglichen werden (Destatis 2019a: 12). Eine weitere

Fehlerquelle sind falsche Angaben der Auskunftspflichtigen etwa in Bezug auf die richtige Zuordnung zur Klassifikation des Warenverzeichnisses, was bei mehr als 10 Tsd. unterschiedlichen Warennummern auch nicht verwundern kann. Die meisten Fehler können aber mit Hilfe von verschiedenen Plausibilitätsprüfungen eliminiert werden (Destatis 2019a: 12).

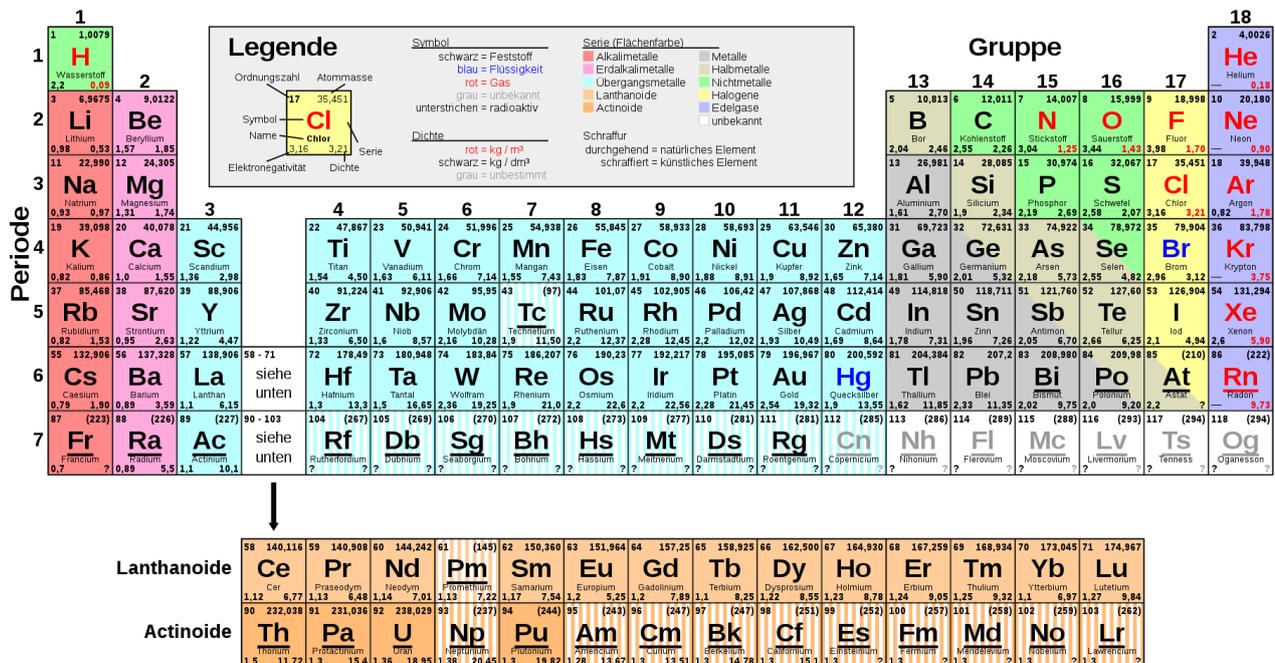
- Geheimhaltungsfälle, Zuordnungsfehler oder handelsbedingte Verzerrungen können in Hinblick auf die Ausprägung der Werte mitunter eine Rolle spielen, sodass eine gewisse Unter- oder Überschätzung nicht ausgeschlossen werden kann. Bei einigen Rohstoffen, die von denen bereits auf Bundesebene nur Mengen von weniger als 500 kg pro Jahr importiert werden, kann es bei den Anteilen für NRW aber zu Unterschätzungen kommen, da für die ohne Nachkommastelle in Tonnen ausgewiesenen Importgewichte dann der Wert 0 angegeben wird. Dies ist etwa bei den geringen Importmengen von Gallium, Germanium, Indium, Palladium, Rhodium oder Tantal anzunehmen.
- Bezüglich der in der Statistik ausgewiesenen Mengen ist zu bedenken, dass es sich dabei häufig nicht um den reinen Rohstoff handelt, sondern um Erze, chemische Verbindungen, Halbwaren oder Schrotte. Da für die hier vorgenommenen Auswertungen mehrere Warennummern für einen Rohstoff zusammengefasst wurden, können strukturelle Effekte auftreten, wenn z.B. für einen hochpreisigen Rohstoff in Rohform nur geringe Mengen in das Importgewicht eingehen, diese aber wegen des hohen Preises den Importwert dominieren. Beim Importgewicht kann dagegen das Gewicht von Abfällen oder Schrotten überwiegen, die jedoch einen vergleichsweise geringen Wert beisteuern. Das ist beispielsweise für Gold und Silber relevant. Die Auswirkungen auf die Ergebnisse für NRW dürften aber eher gering sein, da diese Problematik sowohl auf Bundes- wie auch auf Landesebene besteht.

Alles in allem dürften die im Rahmen der Risikoprofile ausgewiesenen Anteile von NRW an den gesamten deutschen Einfuhren eine gute Indikation für den Rohstoffeinsatz sein.

Das Periodensystem der Elemente enthält alle mit einem hohen oder mittleren Risiko bewerteten Rohstoffe geordnet nach ihrer Kernladung (Abb. 3.3.4). Die meisten Rohstoffe liegen aber, wenn sie als Primärrohstoffe gewonnen werden, nicht in elementarer Form vor, sondern gebunden in Molekülen (wie z.B. Erzen) zusammen mit anderen Elementen, die ebenfalls im Periodensystem zu finden sind. Insofern stellt das Periodensystem der Elemente eine gute Orientierungshilfe zur Einordnung der verschiedenen Rohstoffe dar.

Die Konzipierung der erstellten Risikoprofile lehnt sich dabei an die Struktur des Periodensystems an. Zu anderen Beispielen für Risikoprofile siehe auch: UMSICHT und iswa (2014), Schmidt (2015 und 2017), Al Barazi (2018), Damm (2018), Liedtke und Huy (2018), IW und vbw (2019), DERA (2019), Szurlies (2021), BGR (2021b) und DERA (2021b).

Abb. 3.3.4: Periodensystem der Elemente



Liste aller Elemente, geordnet nach der steigenden Kernladung (Ordnungszahl)

Wikipedia (2021).

Risikoprofil der Seltenerdenmetalle

Zu den Seltenerdenmetallen zählen – mit Ausnahme des Elements Actinium – die chemischen Elemente der dritten Nebengruppe des Periodensystems sowie die Lanthanoide, insgesamt also 17 Elemente. Hiervon gehören Dysprosium, Neodym, Praseodym, Scandium und Yttrium zu den Rohstoffen mit hohem Risiko, das entspricht mehr als einem Viertel der Rohstoffe mit einem hohen Preis- und Versorgungsrisiko.

Vorräte

Die Vorräte sind bei den Seltenerdenmetallen reichhaltig vorhanden, sodass im Prinzip kein Problem seitens der Höhe der Vorräte gibt. Es sind genügend hinreichend angereicherte Vorkommen vorhanden, auch wenn sie sich geologisch bedingt auf wenige Regionen konzentrieren. Die Kosten für den Abbau sind allerdings vergleichsweise hoch, da Seltenerdenmetalle auch in angereicherter Form nur in geringeren Konzentrationen vorkommen. Allerdings werden für die jeweiligen Anwendungen der Seltenerdenmetalle meist auch nur relativ geringe Mengen benötigt.

Nachfrageentwicklung

Eine der wichtigsten Anwendungen von Seltenerdenmetallen sind Dauer- bzw. Permanentmagnete, die u.a. für Windkraftanlagen und Elektromotoren von Bedeutung sind, es gibt aber auch noch viele weitere Anwendungen:

- **Dysprosium:** u.a. Dauermagnete (z.B. für Windkraftanlagen), Leuchtstoffe, Laser
- **Neodym:** u.a. Dauermagnete (z.B. für Elektromotoren, Windkraftanlagen), Glasfärbung, Laser, CD-Player
- **Praseodym:** u.a. Dauermagnete, Flugzeugmotoren, Elektromotoren, Glasfärbung
- **Scandium:** u.a. Stadionbeleuchtung, Brennstoffzellen, Rennräder, Röntgentechnik, Laser
- **Yttrium:** u.a. Leuchtstofflampen, LCD- und Plasmabildschirme, LEDs, Brennstoffzellen, Laser

Da im Zuge der Elektrifizierung der Antriebe und des Ausbaus regenerativer Energien von einem Anstieg der Windkraft und vor allem der Elektromobilität auszugehen ist, wird auch die Nachfrage nach Seltenerdenmetallen deutlich steigen.

Länderkonzentration

Die Länderkonzentration ist bei den Seltenerdenmetallen sehr hoch. In China fallen z.B. in der Bayan-Obo-Lagerstätte leichte Seltenerdenmetalle als Nebenprodukt der Eisenerzförderung an (DECHEMA 2015: 46). Bedeutsam sind aber auch die Lagerstätten für schwere Seltenerdenmetalle im Süden Chinas. Vier Fünftel der weltweiten Bergwerksförderung entfällt auf China, ansonsten ist in erster Linie noch Australien mit einem

Förderanteil von etwa 10% relevant. China hat rund viermal so hohe Reserven wie die USA, die inzwischen aber sehr intensiv in die Exploration von Seltenerdenmetallen investieren, ähnlich wie Australien und inzwischen im Übrigen auch die EU.

Politische Risiken

China ist zwar nicht unbedingt politisch instabil, aber gelegentlich doch relativ unberechenbar, was immer wieder durch überraschende politische Entscheidungen mit zum Teil weitreichenden Folgen zum Ausdruck kommt. Da China aber ein sehr bedeutendes Rohstoffförderland ist und gerade in Bezug auf Seltenerdenmetalle auch künftig bleiben wird, sollte keine zu konfrontative Handelspolitik betrieben werden. Vielmehr müsste diese auch künftig auf eine möglichst verlässliche Grundlage gestellt werden, sodass China und der Rest der Welt davon gleichermaßen profitieren können. Denn China hat letztendlich auch ein Eigeninteresse daran, seine reichhaltigen Rohstoffe auf dem Weltmarkt zu verkaufen.

Substituierbarkeit

Die Substituierbarkeit von Seltenerdenmetallen ist derzeit noch gering. Es wird beispielsweise nach Möglichkeiten gesucht, statt Dauermagneten andere Magnettypen zu verwenden (z.B. kupferhaltige Elektromagnete von BMW). Diese sind bislang aber noch größer, schwerer, teurer und mit ungünstigeren Eigenschaften versehen, sodass sie noch keine echte Alternative darstellen. Es ist aber davon auszugehen, dass an solchen Alternativen auch künftig intensiv geforscht wird.

Recyclingfähigkeit

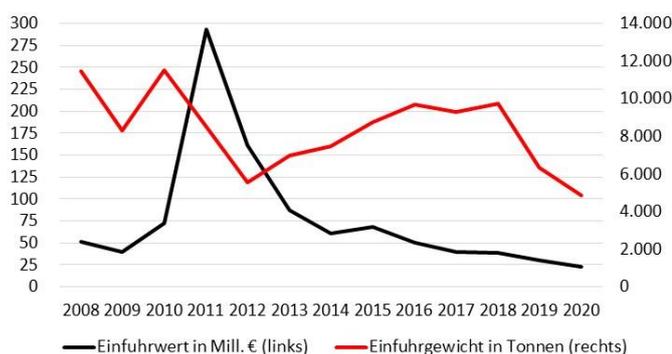
Die Recyclingfähigkeit ist bei Seltenerdenmetallen bislang noch gering. Zwar existieren bereits erste Verfahren in der Grundlagenforschung, die sich aber noch im Laborstadium befinden. Sie sind zurzeit noch sehr aufwändig und daher unwirtschaftlich, aber es besteht ein großes Potenzial. So kann Neodym beispielsweise durch ein in Deutschland entwickeltes Verfahren wiedergewonnen werden und es wird hier auch schon die weltweit größte Wiedergewinnungsanlage gebaut.

Auch dieses Verfahren muss aber noch weiterentwickelt werden, um die Wirtschaftlichkeit zu erhöhen. Das Problem ist vor allem, dass die Rohstoffkonzentrationen in recycelten Produkten meist sehr gering sind, was ein wirtschaftlich darstellbares Recycling erschwert. Es ist aber hinsichtlich der Weiterentwicklung der Verfahren zur Wiedergewinnung von Seltenerdenmetallen davon auszugehen, dass daran mit sehr großer Intensität geforscht wird, was z.B. auch bei der öffentlichen Forschungsförderung zum Tragen kommt.

Bedeutung für Deutschland und NRW

Der Abbildung 3.3.5 ist zu entnehmen, dass Deutschland im Jahr 2020 nur noch rund 5 Tsd. Tonnen pro Jahr an Seltenerdenmetallen einfuhrte, nachdem es 2008 noch über 11 Tsd. Tonnen und 2018 knapp 10 Tsd. Tonnen waren.

Abb. 3.3.5: Einfuhr der Seltenerdenmetalle nach Deutschland

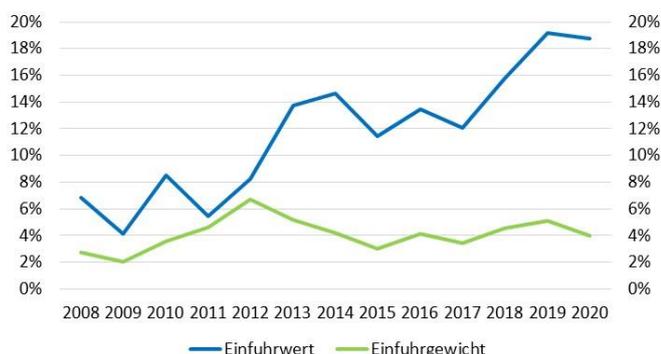


Eigene Darstellung und Berechnungen nach Angaben der Außenhandelsstatistik des Statistischen Bundesamts (Destatis 2021a).

Die weltweite Bergwerkwerksförderung von Seltenerdenmetallen beträgt 127 Tsd. Tonnen (DERA 2019: 69), nach Abzug der Exporte lag der Weltmarktanteil der deutschen Nettoimporte von Seltenerdenmetallen 2018 bei 7% und 2020 bei 4% (der Anteil am globalen Bruttoinlandsprodukt beträgt 3,5%). Nach gestiegenen Preisen in den Jahren 2011/12 erhöhte sich der Einfuhrwert von etwa 50 Mill. € auf knapp 300 Mill. €. Daraufhin gingen die Einfuhrmengen zurück, erholten sich dann aber, als sich die Preise wieder normalisierten. Durch den zuletzt zu verzeichnenden Rückgang der Einfuhrmenge sank der Einfuhrwert 2020 auf nur noch 23 Mill. €.

Die Anteile von NRW an den deutschen Einfuhren von Seltenerdenmetallen sind Abbildung 3.3.6 zu entnehmen. Der Anteil der Einfuhrmenge schwankte in einem relativ engen Korridor zwischen 2% und maximal knapp 7%. Bei den Einfuhrwerten war dagegen im Betrachtungszeitraum eine deutliche Aufwärtsbewegung festzustellen. Nach einem Tiefststand von nur gut 4% im Jahr 2009 stieg der Anteil in den Jahren 2019 und 2020 auf 19% an. Zum Vergleich: der Anteil von NRW am gesamtdeutschen Bruttoinlandsprodukt liegt bei knapp 21%.

Abb. 3.3.6: Einfuhr der Seltenerdenmetalle nach NRW



Anteile an den gesamtdeutschen Einfuhren

Eigene Darstellung und Berechnungen nach Angaben der Außenhandelsstatistik des Statistischen Bundesamts (Destatis 2021a).

Gesamteinschätzung

Die Problematik möglicher Versorgungsengpässe bei Seltenerdenmetallen sollte nicht unterschätzt werden, sie wird aber

mitunter zu einseitig gesehen. Aus ökonomischer Sicht sollte China kein Interesse daran haben, die Funktionsfähigkeit des Weltmarkts für Seltenerdenmetalle nachhaltig und dauerhaft zu unterminieren. Im zurückliegenden Jahrzehnt hat es auch kein grundsätzliches Problem mehr gegeben. Das könnte sich bei steigender Nachfrage, die zu erwarten ist, aber ändern. Ein strategisches Marktverhalten seitens von China, um die Marktpreise nach oben zu treiben, lässt sich dann nicht mehr grundsätzlich ausschließen. Bis zu einem gewissen Grad wird dieser Aspekt als Risiko verbleiben, durch den Abschluss von Handelsvereinbarungen kann dem auf der WTO-Ebene aber vorsorglich entgegengewirkt werden.

Eine strategische Lagerhaltung für Seltenerdenmetalle seitens des Staates erscheint dagegen wenig sinnvoll und auch kaum praktikabel, da es genau hierdurch zu Marktverzerrungen kommen würde, die gerade vermieden werden sollen. Die Frage wäre dann auch zu beantworten, wer diese Lagerbestände im Zweifel ausgeliefert bekommen soll, sofern das überhaupt vorgesehen ist und diese nicht in erster Linie dazu dienen soll, unerwünschte Preisbewegungen durch strategische Käufe oder Verkäufe aufzufangen. Sinnvoller wäre es dann aber, diese Preisschwankungen über die Terminmärkte abzufedern, was jedoch nicht unbedingt eine staatliche Aufgabe sein muss, sondern den Unternehmen überlassen werden kann, die das betreffend meist erfahren genug sind, soweit sie mit dem Rohstoffhandel zu tun haben.

Die Explorationsanstrengungen in Deutschland zu erhöhen und möglicherweise sogar staatlicherseits zu fördern, um eine Primärförderung von Seltenerdenmetallen voranzubringen, ist ebenfalls nicht zielführend, da hier keine Vorkommen mit einem ausreichend hohen Mineralisierungsgrad vorhanden sind. Allerdings sollte sich auch NRW dafür stark machen, dass die Bemühungen in der EU weiter vorangetrieben werden, aussichtsreiche Vorkommen von Seltenerdenmetallen zu finden und zu erschließen (die beispielsweise in Skandinavien vermutet werden).

Was darüber hinaus proaktiv und durchaus offensiv angegangen werden sollte, ist die Förderung der Entwicklung von Substitutionsmöglichkeiten und Recyclingtechnologien im Bereich der Seltenerdenmetalle. Die Etablierung von Zukunftstechnologien, die den Einsatz von Seltenerdenmetallen erfordern, ist schließlich ein prioritäres Ziel.

NRW betreffend ist der Anteil an den deutschen Einfuhren seit 2008 nach und nach gestiegen. Das deutet darauf hin, dass NRW in Bezug auf die Technologien bzw. Produkte, für die Seltenerdenmetalle relevant sind, an Wettbewerbsfähigkeit gewonnen hat und hierfür daher einen langsam steigenden Einfuhrbedarf aufweist. Das bedeutet für die entsprechenden Industrien bzw. Unternehmen in NRW, dass die hiermit verbundenen Versorgungsrisiken steigen.

Risikoprofil der Batterierohstoffe

Die Rohstoffe, die für Batterien erforderlich sind, werden im Zuge des Bedeutungszuwachses der Elektromobilität künftig besonders im Fokus stehen, daher werden sie in diesem Risikoprofil zusammen betrachtet. Zu ihnen gehören Lithium, Kobalt, Nickel, Mangan und Graphit. Mit Ausnahme von Nickel, das von einem mittleren Risiko geprägt ist, gehören die anderen Batterierohstoffe zu den Rohstoffen mit hohem Risiko.

Vorräte

Die Vorräte sind vor allem bei Mangan relativ knapp, während Lithium, Kobalt und Nickel diesen Faktor betreffend ein mittleres Risiko aufweisen. Lediglich bei Graphit sind die Vorräte sehr ausgeprägt.

Nachfrageentwicklung

Wie erwähnt, sind Batterien eine der Hauptanwendungen für die hier zusammen betrachteten fünf Rohstoffe. Vor allem die Nachfrage nach Lithium-Ionen-Batterien wird in den kommenden Jahren mehr oder weniger proportional zum erwarteten rasanten Anstieg der Zahl der Elektroautos steigen. Die Batterierohstoffe spielen insbesondere für die folgenden Anwendungen eine wichtige Rolle:

- **Lithium:** u.a. Batterien in Smartphones, Laptops, E-Bikes, Hybrid- und Elektroautos, Kernreaktoren, Medizin
- **Kobalt:** u.a. Lithium-Ionen-Batterien, Katalysatoren, Magnete, Superlegierungen, Supraleiter, Farben
- **Nickel:** u.a. wieder aufladbare Batterien, Katalysatoren, Korrosionsschutz für Stähle, Kondensatoren, Münzen
- **Mangan:** u.a. Legierung von Edelmetallen, Batterien
- **Graphit:** u.a. Anode in Lithium-Ionen-Batterien (Lithium dann als Kathode), viele weitere Anwendungen z.B. als Elektrode, in elektrischen Motoren, Lagern, Dichtungen, Schmelzriegeln, Bleistiften usw.

Im Zuge der Elektrifizierung der Antriebe wird die Nachfrage nach Batterierohstoffen deutlich steigen. Vor allem Lithium ist für Lithium-Ionen-Batterien essenziell. In einem Handy sind etwa 8 Gramm Lithium verbaut, in einem Elektroauto 8 kg. Der Kobaltanteil in Batterien konnte zwar gesenkt werden, dennoch ist mit einem deutlichen, wenn auch etwas moderaterem Anstieg als bei Lithium zu rechnen. Die anderen Batterierohstoffe sind für die Lithium-Ionen-Batterien zwar nicht so essenziell, sie werden voraussichtlich aber dennoch für viele existierenden und künftigen Batterietypen verwendet werden (wobei der für Batterien besonders wichtige Markt für Nickelsulfate noch relativ klein ist). Da zurzeit unklar ist, welche Batterietypen sich letztendlich durchsetzen werden, ist deren Nachfrageentwicklung schwer abschätzbar.

Länderkonzentration

Von Mangan und Nickel abgesehen, die eine mittlere bzw. geringe Länderkonzentration aufweisen, ist diese bei den anderen Batterierohstoffen hoch. Das gilt vor allem für Kobalt (zwei Drittel der Förderung entfallen auf die Demokratische Republik Kongo) und Graphit (drei Viertel auf China). Bei Lithium ist die Struktur der Förderländer diversifizierter (wichtigstes Förderland ist hier Australien). Deutschland verfügt im Erzgebirge über Lithiumreserven und am Oberrhein über Lithiumressourcen (es handelt sich dabei möglicherweise um das größte Vorkommen in Europa). Die Geothermie-Werke am Oberrhein, die Thermalwässer mit signifikanten Lithiumgehalten nutzen, sind aber darauf angewiesen, dass der Lithiumpreis steigt, damit sie Lithium wirtschaftlich gewinnen können.

Politische Risiken

Kobalt ist auch deswegen ein so risikobehafteter Rohstoff, weil dessen Hauptförderland Kongo, das einen sehr hohen Förderanteil aufweist, politisch besonders instabil ist. Aus dem Grund war die Suche nach Alternativen bzw. Einsparmöglichkeiten bei diesem Rohstoff auch besonders intensiv. Auch bei Graphit und Mangan ist die politische Instabilität der Förderländer hoch, bei Lithium und Nickel ist sie dagegen geringer.

Substituierbarkeit

Die Substituierbarkeit ist bei Lithium und Nickel auf einem mittleren Niveau. Das wirkt sich aber ausgerechnet für die künftig voraussichtlich von hohen Nachfragesteigerungen geprägten Lithium-Ionen-Batterien nur bedingt aus. Hier kann Lithium zwar als Anode von Graphit ersetzt werden, das aber seinerseits ein Rohstoff mit hohem Risiko ist.

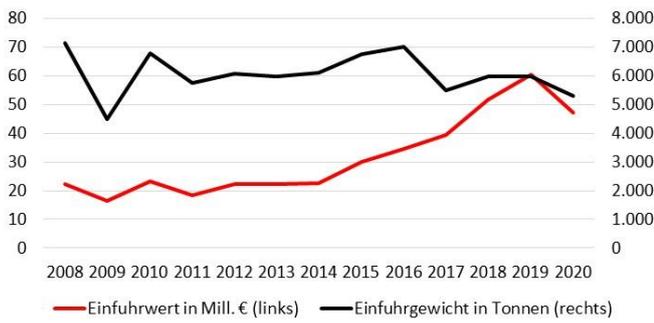
Recyclingfähigkeit

Lithium, Nickel und auch Kobalt sind schon heute recyclingfähig, im Gegensatz zu Graphit und Mangan. Zwar ist speziell bei Lithium die Recyclingquote noch gering und ein Recycling zudem unwirtschaftlich, da hieran aber intensiv geforscht wird, könnte sich das in absehbarer Zeit ändern.

Bedeutung für Deutschland und NRW

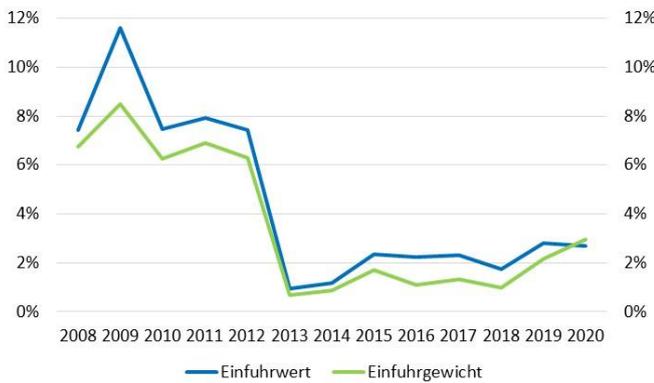
Die Einfuhren von Lithium nach Deutschland bewegen sich in einem Korridor zwischen 5 Tsd. und 7 Tsd. Tonnen (Abb. 3.3.7). Der Einfuhrwert, der lange um die 20 Mill. € pendelte, stieg dagegen preisbedingt an, und zwar von 22 Mill. € in 2014 auf 60 Mill. € in 2019 (2020: 5,3 Tsd. Tonnen und 47 Mill. €). In NRW spielen die Lithiumimporte dagegen eine untergeordnete Rolle, was mit der vergleichsweise geringen Bedeutung der Automobilindustrie zusammenhängt (siehe dazu auch den Abs. 3.4) und der noch nicht so ausgeprägten Batteriezellenproduktion auf Lithiumbasis. Während 2009 der Anteil an der gesamten Einfuhrmenge noch knapp 9% und der Anteil am Einfuhrwert sogar 12% betrug, gingen die Anteile danach auf zeitweise unter 1% zurück. Zuletzt stiegen sie wieder leicht an und betragen zuletzt etwa 3% (Abb. 3.3.8).

Abb. 3.3.7: Einfuhr von Lithium nach Deutschland



Eigene Darstellung und Berechnungen nach Angaben der Außenhandelsstatistik des Statistischen Bundesamts (Destatis 2021a).

Abb. 3.3.8: Einfuhr von Lithium nach NRW

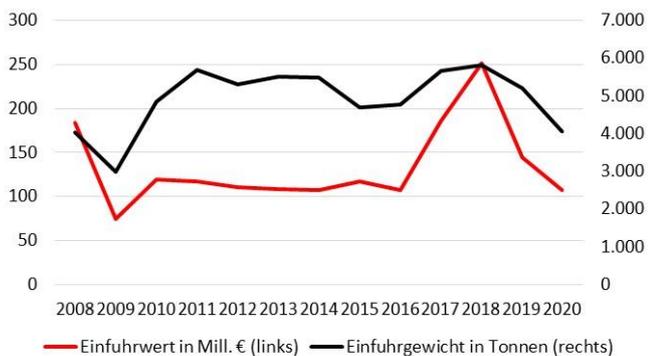


Anteile an den gesamtdeutschen Einfuhren

Eigene Darstellung und Berechnungen nach Angaben der Außenhandelsstatistik des Statistischen Bundesamts (Destatis 2021a).

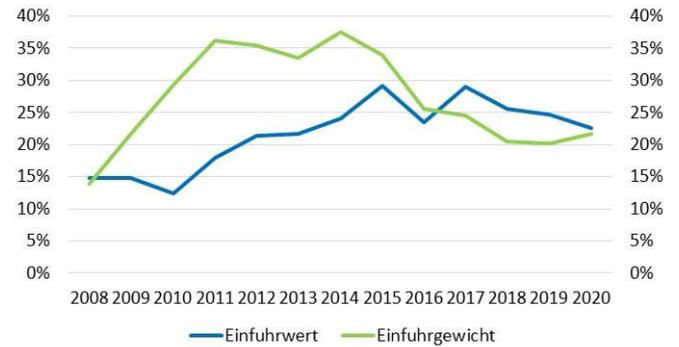
Bei Kobalt sieht das Bild ähnlich aus. Die Einfuhrmenge lag mit gut 4 Tsd. Tonnen 2020 in etwa auf dem Niveau von 2008 (Abb. 3.3.9). Der Einfuhrwert war 2020 sogar niedriger als 2008, wobei er insbesondere in den letzten zwei Jahren von 252 Mill. € auf nur noch 107 Mill. € sank, in etwa auf das Niveau des Einfuhrwerts, den Kobalt schon im Zeitraum 2010 bis 2015 relativ stabil aufwies. Die Anteile an den deutschen Einfuhrmengen und -werten nach NRW schwankten im Zeitverlauf zwischen 15% und bis zu 36% relativ stark und liegen aktuell bei um die 22% (Abb. 3.3.10).

Abb. 3.3.9: Einfuhr von Kobalt nach Deutschland



Eigene Darstellung und Berechnungen nach Angaben der Außenhandelsstatistik des Statistischen Bundesamts (Destatis 2021a).

Abb. 3.3.10: Einfuhr von Kobalt nach NRW

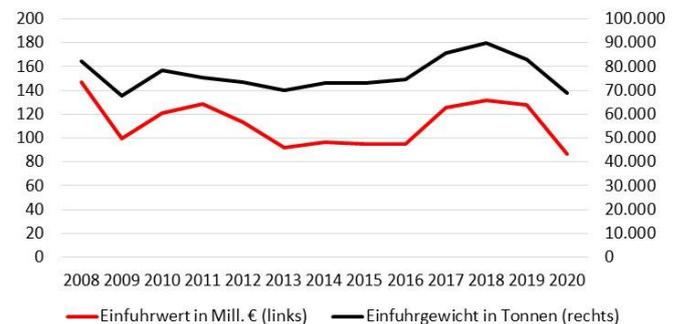


Anteile an den gesamtdeutschen Einfuhren

Eigene Darstellung und Berechnungen nach Angaben der Außenhandelsstatistik des Statistischen Bundesamts (Destatis 2021a).

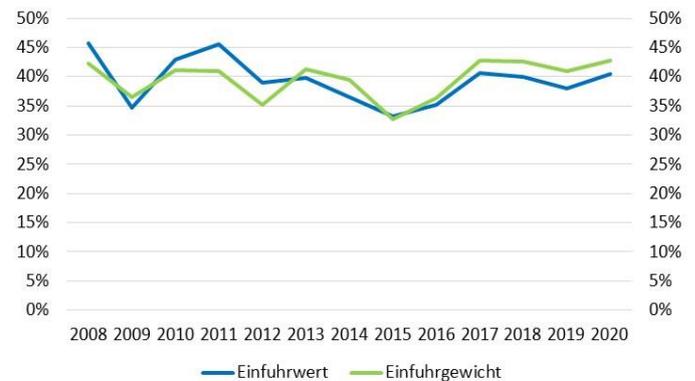
Bei Mangan, Nickel und Graphit stellt sich die Situation sowohl in Deutschland insgesamt als auch in NRW jeweils ähnlich dar, sodass diese drei Rohstoffe an dieser Stelle zusammengefasst werden können (Abb. 3.3.11 bis 3.3.16). Die Einfuhrmengen lagen 2020 bei ca. 70 Tsd., 100 Tsd. bzw. 80 Tsd. Tonnen und zeigten sich auch im Zeitverlauf relativ stabil. Der Einfuhrwert betrug bei Mangan gut 80 Mill. €, bei Nickel etwas mehr als eine Mrd. € und bei Graphit 120 Mill. €.

Abb. 3.3.11: Einfuhr von Mangan nach Deutschland



Eigene Darstellung und Berechnungen nach Angaben der Außenhandelsstatistik des Statistischen Bundesamts (Destatis 2021a).

Abb. 3.3.12: Einfuhr von Mangan nach NRW

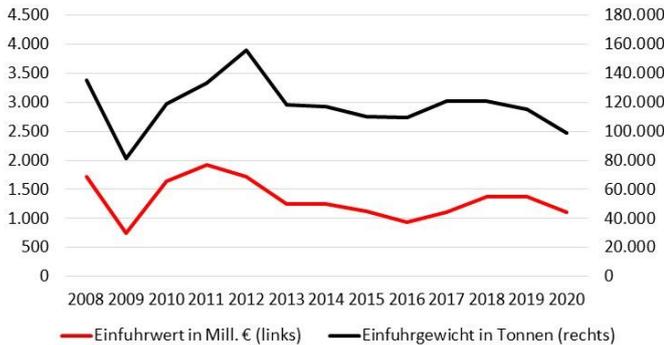


Anteile an den gesamtdeutschen Einfuhren

Eigene Darstellung und Berechnungen nach Angaben der Außenhandelsstatistik des Statistischen Bundesamts (Destatis 2021a).

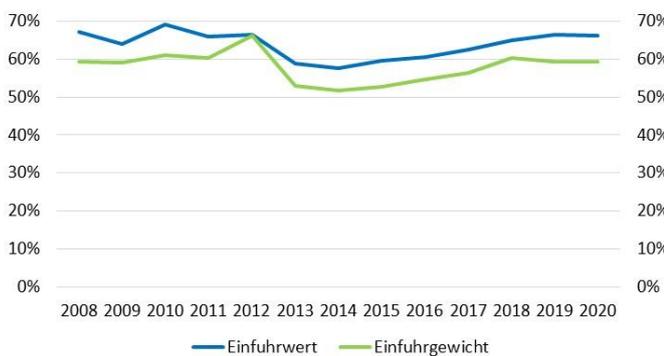
Die Anteile NRWs an den bundesdeutschen Einfuhrmengen und -werten sind bei Mangan mit jeweils um die 40% und bei Nickel mit sogar um die 60% bis 70% sehr hoch, was vor dem Hintergrund ihrer Eigenschaften als Legierungsmetall mit der großen Bedeutung der Metallindustrie in NRW zu tun hat (siehe dazu auch den Abs. 3.4). Vor allem in Bezug auf die Verhüttung von Nickel weist NRW Stärken auf. Auch bei Graphit ist der Anteil von NRW überproportional hoch, er schwankt hier in einem Korridor von 20% bis 40% aber stärker als bei Mangan und Nickel.

Abb. 3.3.13: Einfuhr von Nickel nach Deutschland



Eigene Darstellung und Berechnungen nach Angaben der Außenhandelsstatistik des Statistischen Bundesamts (Destatis 2021a).

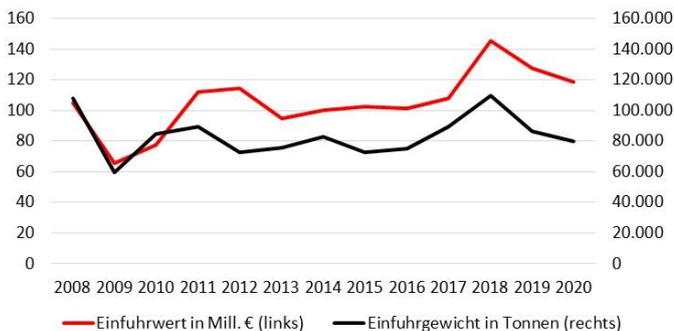
Abb. 3.3.14: Einfuhr von Nickel nach NRW



Anteile an den gesamtdeutschen Einfuhren

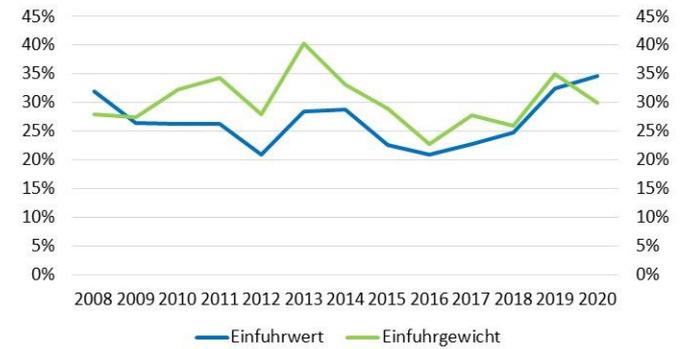
Eigene Darstellung und Berechnungen nach Angaben der Außenhandelsstatistik des Statistischen Bundesamts (Destatis 2021a).

Abb. 3.3.15: Einfuhr von Graphit nach Deutschland



Eigene Darstellung und Berechnungen nach Angaben der Außenhandelsstatistik des Statistischen Bundesamts (Destatis 2021a).

Abb. 3.3.16: Einfuhr von Graphit nach NRW



Anteile an den gesamtdeutschen Einfuhren

Eigene Darstellung und Berechnungen nach Angaben der Außenhandelsstatistik des Statistischen Bundesamts (Destatis 2021a).

Gesamteinschätzung

Für die Lithiumnachfrage sind Batterien der mit Abstand größte Einflussfaktor. Sie wird daher infolge der Elektrifizierung der Antriebe aufgrund des hohen Lithiumanteils in den Batterien für Elektroautos überproportional stark ansteigen, wohingegen dies für die anderen Batterierohstoffe nur in geringerem Maße der Fall sein dürfte. Insbesondere bei Mangan, Nickel und Graphit sind mengenmäßig andere Anwendungen bedeutender. Dennoch werden auch hier zusätzliche Nachfragesteigerungen aufgrund der Veränderungen der Nachfrage nach Batterien eintreten. Sollten die Preise für Lithium, wie zu erwarten ist, deutlich steigen, wird sich das u.a. auch aus spekulativen Gründen auf die Preise der anderen Batterierohstoffe erhöhend auswirken, auch wenn die Nachfrageeffekte hier vermutlich geringer sein werden.

Für NRW ist dieser Zusammenhang nicht unproblematisch. Da anzunehmen ist, dass der Markt für Batterien stark wachsen wird, würden steigende Preise der Batterierohstoffe den Aufbau einer Produktion von Batteriezellen in NRW erschweren. Sofern die Preissteigerungen alle Batterierohstoffe betreffen, könnte die in NRW sehr bedeutende Verhüttung von Nickel oder auch von Mangan beeinflusst werden. Solange die Preissteigerungen der Rohstoffe von der Metallindustrie an die jeweiligen Abnehmer weitergegeben werden können und sich dadurch die Nachfrage nicht spürbar verringert, wäre die Auswirkungen aber eher gering. Im Falle von sehr deutlich ansteigenden Preisen der Batterierohstoffe würden die daraus resultierenden Folgen aber gravierender werden.

In Batterien sind u.a. auch Aluminium, Blei, Kupfer, und Zink enthalten. Diese Rohstoffe werden aber im folgenden Rohstoffprofil bei den Massenrohstoffen besprochen, da deren Bedeutung für Batterien nicht zentral ist (sie betreffen teilweise vor allem die Gehäuse und sind mengenmäßig zudem vornehmlich für andere Anwendungen relevant).

Risikoprofil der Massenrohstoffe

Massenrohstoffe unterscheiden sich von anderen risikobehafteten Rohstoffen vor allem dadurch, dass sie in viel größeren Mengen und in wesentlich mehr Anwendungsbereichen zum Einsatz kommen. Als Kriterium für Massenrohstoffe wurde hier eine Einfuhr nach Deutschland in Höhe von mindestens 500 Tsd. Tonnen herangezogen, was bei Aluminium, Blei, Kupfer, Titan und Zink der Fall ist (obwohl es kein risikobehafteter Rohstoff ist, wird auch Eisen betrachtet). Alle Massenrohstoffe sind, wie unten gezeigt wird, für NRW von großer Bedeutung. Bei Massenrohstoffen ist beim Rohstoffeinkauf die Abhängigkeit von einzelnen Lieferanten geringer. Dies bedeutet aber nicht, dass Massenrohstoffe keine risikobehafteten Rohstoffe wären, auch wenn sie, abgesehen von Titan, nur von einem mittleren Risiko gekennzeichnet sind. Sollte es bei einem dieser Rohstoffe einmal zu Lieferengpässen kommen, können die wirtschaftlichen Auswirkungen ungleich größer als bei Rohstoffen mit einem vergleichsweise geringeren Einfuhranteil sein. Zudem sind bei ihnen die Recyclingpotenziale meist schon weitgehend realisiert.

Vorräte

Die Vorräte sind bei Blei und Zink kritisch, während sie bei Kupfer ein mittleres Risiko darstellen. Das Risiko bei Aluminium und Titan ist als gering anzusehen, Eisen ist dagegen nur wenig risikobehaftet.

Nachfrageentwicklung

Die Nachfrage wird künftig insbesondere nach Aluminium, Kupfer und Titan stark steigen. Bei Aluminium hängt das mit dessen niedrigem spezifischen Gewicht zusammen, was es in verschiedenen Anwendungen besonders für den Leichtbau von Fahrzeugen attraktiv macht (es wird in Deutschland die Hälfte des Aluminiums im Fahrzeugbau verwendet). Im Automobilbau wird voraussichtlich vor allem die Nachfrage nach Gusslegierungen steigen, wodurch pro Auto mehr Aluminium als bislang verbaut wird. Aluminium ist ein Legierungsrohstoff, der z.B. zusammen mit Kupfer oder Zink eingesetzt werden kann. Kupfer und Titan sind auch für verschiedene Zukunftstechnologien relevant, die künftig an Bedeutung gewinnen:

- **Aluminium:** u.a. Legierungen (z.B. mit Kupfer, Magnesium, Mangan, Silicium, Zink), Leichtbau, Elektronik, elektrische Leitungen, LCD-Panels, RFID-Chips
- **Blei:** u.: Legierungen, Korrosionsschutz, Maschinenbau, Batterien, Strahlungsschutz
- **Kupfer:** u.a. Legierungen, elektrische Leitungen, Elektromotoren, Rohrleitungen, Windkraftanlagen, Dächer
- **Titan:** u.a. Legierung von Stählen, Magnete, Kondensatoren, Drähte, Gehäuse, Implantate, Münzen, Schmuck
- **Zink:** u.a. Korrosionsschutz, Bleche, Drähte, Batterien, Energiespeicher, Monitore, Münzen, Nahrungsergänzung

Länderkonzentration

Die Konzentration der Förderländer ist bei Blei hoch (etwa die Hälfte der Förderung kommt aus China), bei Aluminium und Zink ist sie mittel, bei Kupfer und Titan sogar gering.

Politische Risiken

Die politischen Risiken sind bezüglich der Förderländer von Zink besonders gering, aber auch bei den anderen vier Massenrohstoffen besteht hier nur ein mittleres Risiko.

Substituierbarkeit

Während sich Kupfer in der Regel nicht substituieren lässt, ist das bei den anderen hier besprochenen Massenrohstoffen mit gewissen Einschränkungen möglich, sodass diese bezogen auf die Substituierbarkeit nur von einem mittleren Risiko gekennzeichnet sind.

Recyclingfähigkeit

Bei den Massenrohstoffen stellt das Recycling – mit Einschränkungen bei Titan – kein größeres Problem dar. Sie können meist beliebig oft und ohne Qualitätsverlust recycelt werden. Für das Recycling von Aluminium wird nur 5% der Energie der Primärproduktion benötigt (SÜDWIND et al. 2014: 18). Das Problem ist aber, dass meist nicht genügend Sekundärmaterial zur Verfügung steht, da es lange in Produkten gebunden ist. Rund drei Viertel des bislang erzeugten Aluminiums ist noch immer in der ursprünglichen Weise verbaut.

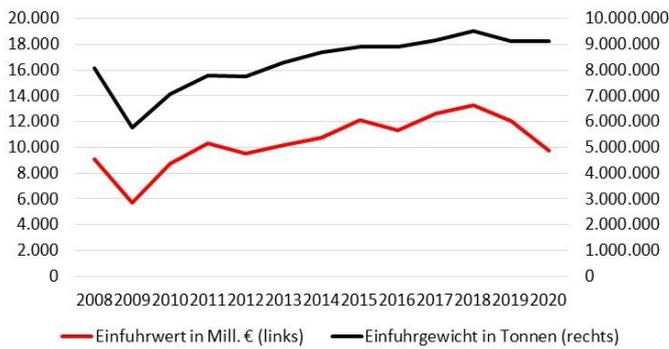
Messing ist eine Legierung aus Kupfer und Zink sowie Bronze aus Kupfer und Zinn, wobei solche Legierungen mitunter noch durch Beimischungen von Blei oder Nickel verändert werden. Die Rohstoffe werden dann im Recycling in der Regel nicht einzeln getrennt, da ein Einzelmetallrecycling an dieser Stelle energetisch zu aufwändig wäre, sondern als Beimischung verwendet, um neue Legierungen mit anderen Rohstoffzusammensetzungen zu kreieren. Es gibt somit einen eigenen Messing- bzw. Bronzestoffkreislauf.

Bedeutung für Deutschland und NRW

Die Einfuhrmengen von Aluminium haben sich nach dem Einbruch im Jahr 2009 durch die Finanzmarktkrise wieder kontinuierlich erhöht und lagen 2020 bei über 9 Mill. Tonnen, wohingegen der Einfuhrwert in den letzten zwei Jahren preisbedingt um rund ein Viertel seines Wertes verlor und damit auf nur noch knapp 10 Mrd. € zurückgegangen ist (Abb. 3.3.17). Gut ein Viertel des Einfuhrgewichts und knapp ein Drittel des Einfuhrwerts entfielen 2020 auf NRW (Abb. 3.3.18).

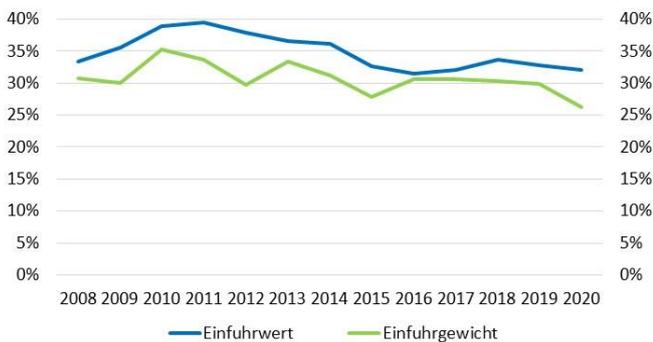
In NRW ist somit das wichtigste Cluster für die Aluminiumindustrie in Deutschland angesiedelt. Es wird dabei die gesamte Wertschöpfungskette abgedeckt. Herausragende NRW-Unternehmen im Aluminiumbereich sind u.a. zwei Primärhütten sowie das größte Aluminiumwalzwerk der Welt.

Abb. 3.3.17: Einfuhr von Aluminium nach Deutschland



Eigene Darstellung und Berechnungen nach Angaben der Außenhandelsstatistik des Statistischen Bundesamts (Destatis 2021a).

Abb. 3.3.18: Einfuhr von Aluminium nach NRW

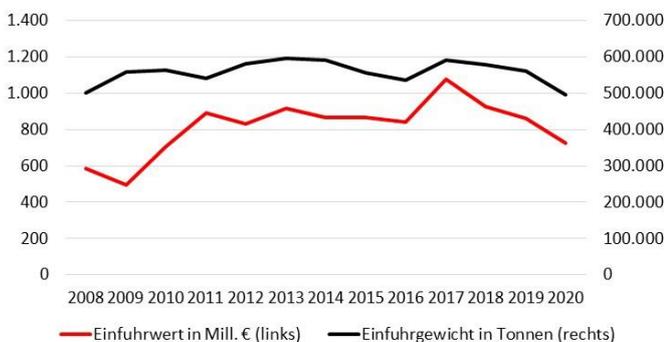


Anteile an den gesamtdeutschen Einfuhren

Eigene Darstellung und Berechnungen nach Angaben der Außenhandelsstatistik des Statistischen Bundesamts (Destatis 2021a).

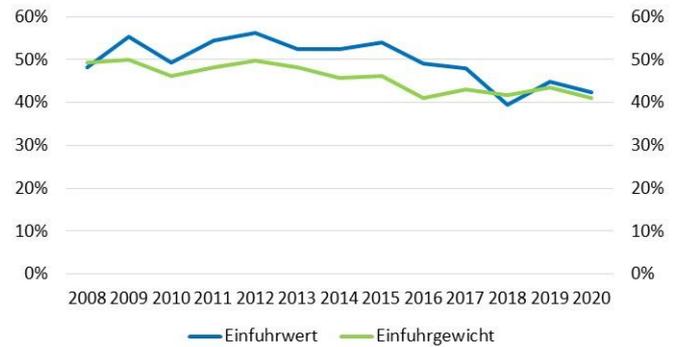
Die Einfuhrmenge von Blei hat sich seit dem Jahr 2008 nur wenig verändert und verharrt seitdem in einer Spanne zwischen 500 Tsd. und 600 Tsd. Tonnen (Abb. 3.3.19). 2020 lag die Einfuhrmenge mit knapp 500 Tsd. Tonnen in etwa wieder auf dem Niveau von 2008. Der Einfuhrwert ist gegenüber 2008 zwar um ein Viertel gestiegen, gegenüber 2017 aber wieder um rund ein Drittel gefallen. Der Anteil von NRW an den deutschen Bleieinfuhren ist immer noch hoch, von 2008 bis 2020 aber von knapp 50% auf gut 40% gefallen (Abb. 3.3.20).

Abb. 3.3.19: Einfuhr von Blei nach Deutschland



Eigene Darstellung und Berechnungen nach Angaben der Außenhandelsstatistik des Statistischen Bundesamts (Destatis 2021a).

Abb. 3.3.20: Einfuhr von Blei nach NRW

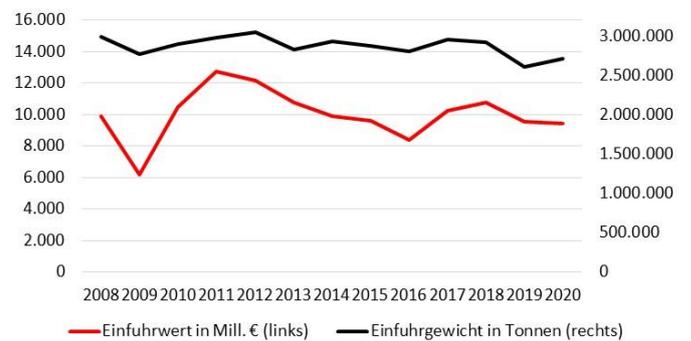


Anteile an den gesamtdeutschen Einfuhren

Eigene Darstellung und Berechnungen nach Angaben der Außenhandelsstatistik des Statistischen Bundesamts (Destatis 2021a).

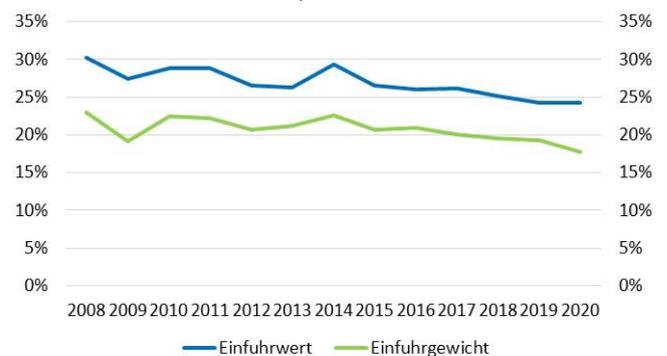
Die Einfuhr von Kupfer stagniert auf hohem Niveau. 2020 wurden 2,7 Mill. Tonnen für 9,4 Mrd. € eingeführt (Abb. 3.3.21). Auch hier ging der Anteil von NRW an den gesamtdeutschen Einfuhren kontinuierlich zurück, und zwar von 23% auf 18% bei der Einfuhrmenge und von 30% auf 24% beim Einfuhrwert (Abb. 3.3.22). Damit ist die Kupferindustrie in NRW nur noch durchschnittlich repräsentiert, wenn man bedenkt, dass die Metallindustrie in NRW ansonsten eine überdurchschnittliche Bedeutung hat (siehe dazu auch den Abs. 3.4).

Abb. 3.3.21: Einfuhr von Kupfer nach Deutschland



Eigene Darstellung und Berechnungen nach Angaben der Außenhandelsstatistik des Statistischen Bundesamts (Destatis 2021a).

Abb. 3.3.22: Einfuhr von Kupfer nach NRW

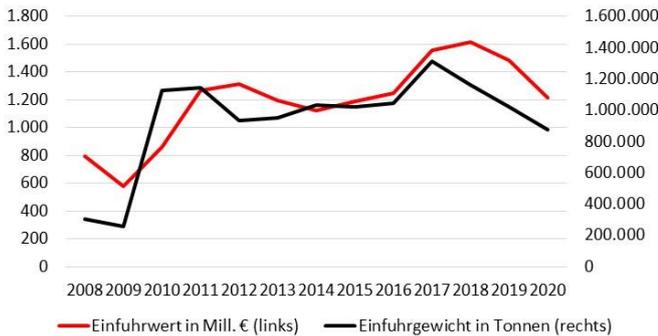


Anteile an den gesamtdeutschen Einfuhren

Eigene Darstellung und Berechnungen nach Angaben der Außenhandelsstatistik des Statistischen Bundesamts (Destatis 2021a).

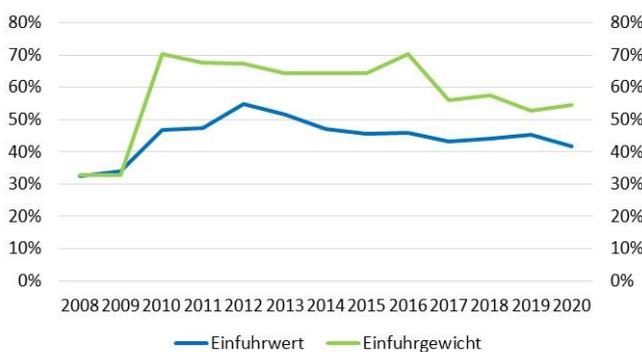
Auch die Einfuhren von Titan und Zink (Abb. 3.3.23 bis 3.3.26) folgen in etwa den schon für Aluminium und Blei festgestellten Trends. Die Einfuhren auf der Bundesebene stagnieren tendenziell. Mit 872 Tsd. Tonnen für 1,2 Mrd. € bei Titan und 778 Tsd. Tonnen für 1,2 Mrd. € bei Zink waren sie aber auch 2020 immer noch beträchtlich. Der NRW-Anteil an den gesamtdeutschen Einfuhren weist auch eine stagnierende bzw. ab 2010 sogar leicht abwärts gerichtete Tendenz auf. Gleichwohl sind die Anteile nach wie vor relativ hoch: Bei Titan waren es 2020 42% bezogen auf die Einfuhmenge und 55% bezogen auf das Einfuhrgewicht, bei Zink 26% bzw. 37%.

Abb. 3.3.23: Einfuhr von Titan nach Deutschland



Eigene Darstellung und Berechnungen nach Angaben der Außenhandelsstatistik des Statistischen Bundesamts (Destatis 2021a).

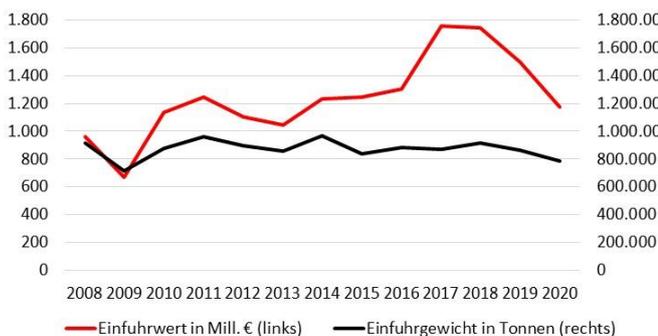
Abb. 3.3.24: Einfuhr von Titan nach NRW



Anteile an den gesamtdeutschen Einfuhren

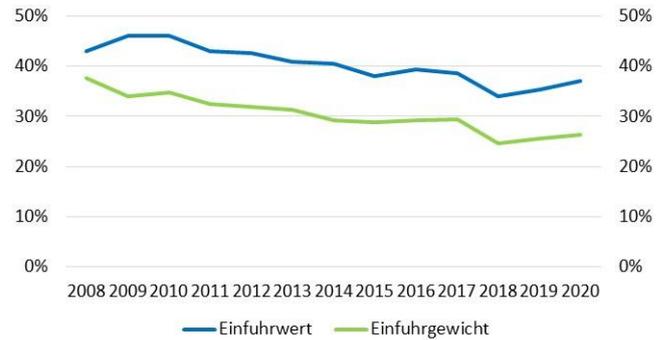
Eigene Darstellung und Berechnungen nach Angaben der Außenhandelsstatistik des Statistischen Bundesamts (Destatis 2021a).

Abb. 3.3.25: Einfuhr von Zink nach Deutschland



Eigene Darstellung und Berechnungen nach Angaben der Außenhandelsstatistik des Statistischen Bundesamts (Destatis 2021a).

Abb. 3.3.26: Einfuhr von Zink nach NRW

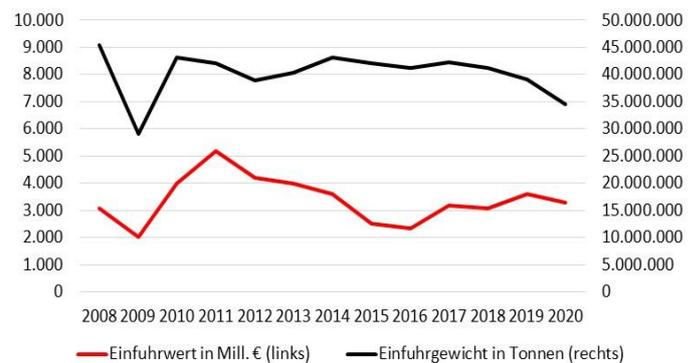


Anteile an den gesamtdeutschen Einfuhren

Eigene Darstellung und Berechnungen nach Angaben der Außenhandelsstatistik des Statistischen Bundesamts (Destatis 2021a).

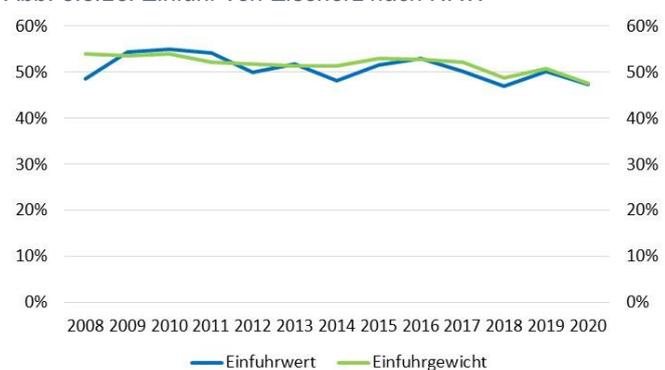
Ergänzend wird, obwohl es in dem Sinne kein risikobehafteter Rohstoff ist, informell auch die Einfuhr von Eisen am Beispiel von Eisenerz aufgezeigt, da es sich hierbei um den volumenstärksten Massenrohstoff handelt. Eisenerz ist ein wesentlicher und unverzichtbarer Rohstoff für die Eisen- und Stahlindustrie, es wird demnach vor allem von der Metallindustrie nachgefragt. Im Jahr 2020 wurden 35 Mill. Tonnen Eisenerz für 3,3 Mrd. € nach Deutschland eingeführt, knapp die Hälfte davon nach NRW (Abb. 3.3.27 und Abb. 3.3.28).

Abb. 3.3.27: Einfuhr von Eisenerz nach Deutschland



Eigene Darstellung und Berechnungen nach Angaben der Außenhandelsstatistik des Statistischen Bundesamts (Destatis 2021a).

Abb. 3.3.28: Einfuhr von Eisenerz nach NRW



Anteile an den gesamtdeutschen Einfuhren

Eigene Darstellung und Berechnungen nach Angaben der Außenhandelsstatistik des Statistischen Bundesamts (Destatis 2021a).

Gesamteinschätzung

Bei allen Massenrohstoffen, die risikobehaftet sind und von denen jährlich mindestens 500 Tsd. Tonnen nach Deutschland eingeführt werden, weist NRW überproportionale Anteile an den Einfuhrmengen und -werten auf, die über den Beschäftigungs- und Wertschöpfungsanteil des Landes hinausgehen. Das bringt die besondere Stellung zum Ausdruck, die der NRW-Metallindustrie in Deutschland und auch im weltweiten Maßstab betrachtet zukommt. Die Massenrohstoffe unterscheiden sich von den meisten anderen Metallen aber auch dadurch, dass hier das Recycling schon wesentlich effizienter ist. Die Recyclingquoten sind vergleichsweise hoch und der Stand der Entwicklung der zum Einsatz kommenden Recyclingverfahren technologisch ausgereifter und vor allem wirtschaftlicher. Es wird aber auch deutlich, dass sich die Anteile von NRW an den deutschen Einfuhrmengen bzw. -werten im Zeitverlauf relativ kontinuierlich abschwächen. Diese Tendenz geht aber weitgehend einher mit der Entwicklung der Metallindustrie in NRW (siehe dazu auch den Abs. 3.4).

Risikoprofil der Edelmetalle

Das Besondere an den beiden Edelmetallen Gold und Silber ist, dass ihnen mehrere unterschiedliche Funktionen zukommen. Demzufolge gibt es auch mehrere Einflussfaktoren in Hinblick auf deren Preise und die Versorgung mit diesen „Rohstoffen“. Im Periodensystem der Elemente gehören Gold und Silber zu den Edelmetallen der Kupfergruppe.

Vorräte

Die Vorräte stellen sowohl bei Gold als auch bei Silber ein hohes Risiko dar. Bei Silber ist der Anteil der primären Silberminen zudem vergleichsweise gering, denn rund zwei Drittel des jährlich geförderten Silbers fällt als Nebenprodukt der Förderung anderer Metalle wie Blei, Zink, Kupfer oder Gold an, deren Produktion aber von der Silbernachfrage und auch dem Silberpreis relativ unabhängig ist (Dehio 2020: 63). Hierdurch kann sich das Versorgungsrisiko erhöhen.

Nachfrageentwicklung

Von Gold wird nur etwa ein Zehntel der weltweiten Fördermenge als industrieller Rohstoff verbraucht, von Silber ist es dagegen etwa die Hälfte. Ansonsten kommt beiden eine große Bedeutung als Wertaufbewahrungsmittel z.B. in Form von Schmuck, Münzen oder Barren zu, Gold ist zudem eine weltweit bedeutende Währungsreserve bei den Notenbanken. Von der Industrie werden sie insbesondere in den folgenden Bereichen als Rohstoff nachgefragt (Dehio 2020: 40ff.):

- **Gold:** vier Fünftel entfallen auf die Elektronikindustrie, 6% auf zahntechnische und 15% auf weitere Anwendungen
- **Silber:** u.a. bleifreie Weichlote, elektronische Bauteile u.a. in Automobilen, Computern, Handys, Leuchtdioden oder TV-Geräten, Solarzellen, Hartlegierungen u.a. für die Automobilindustrie, Katalysatoren, Brennstoffzellen, Batterien, RFID-Chips, Supraleitungen, Reflektoren, verschiedene medizinische und textile Anwendungen

Länderkonzentration

Die Länderkonzentration ist bei Gold und Silber sehr gering, da es wirtschaftlich abbaubare Edelmetallvorkommen in zahlreichen Ländern gibt. Bis zum Beginn des vergangenen Jahrhunderts wurden auch in Deutschland noch bedeutende Mengen an Edelmetallen gefördert, heute sind es nur noch relativ geringe Mengen (z.B. Rheingold).

Politische Risiken

Die politischen Risiken fallen bei der Goldförderung eher geringer aus, bei der Silberförderung sind sie etwas höher.

Substituierbarkeit

Die Substituierbarkeit bei Edelmetallen ist vor dem Hintergrund der verschiedenen Nutzungen zu betrachten, die weit

über industrielle Anwendungen hinausgehen. In manchen dieser Nachfragesegmente sind Edelmetalle gut substituierbar, in anderen, wie z.B. der Elektronikindustrie, teilweise gar nicht.

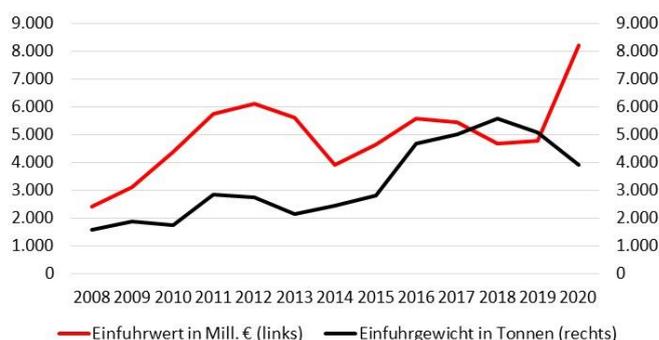
Recyclingfähigkeit

Grundsätzlich können Metalle umso eher recycelt werden, je reiner bzw. edler sie sind. Die Recyclingfähigkeit ist besonders bei Gold hoch, da Schmuck, Barren oder Münzen sich einfach einschmelzen und anderweitig weiterverarbeiten lassen. Bei Silber ist sie weniger ausgeprägt, da es in vielen industriellen Anwendungen zum Einsatz kommt. Die Konzentrationen in Produkten, die Silber enthalten, sind mitunter so gering, dass ein wirtschaftlich darstellbares Recycling nicht immer gewährleistet ist, sofern die Produkte nach ihrem Lebensende überhaupt ins Recycling eingehen.

Bedeutung für Deutschland und NRW

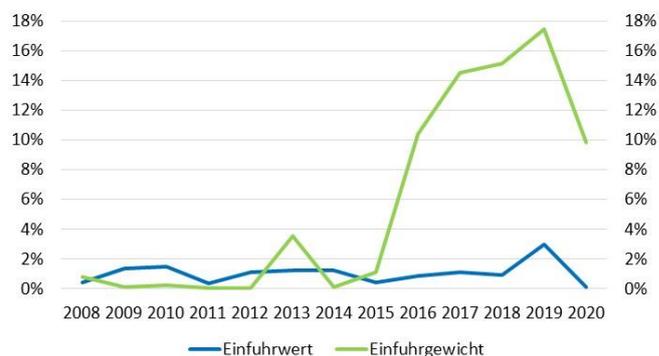
Die Einfuhrmengen und -werte von Gold nach Deutschland und NRW sind den Abb. 3.3.29 und 3.3.30 zu entnehmen.

Abb. 3.3.29: Einfuhr von Gold nach Deutschland



Eigene Darstellung und Berechnungen nach Angaben der Außenhandelsstatistik des Statistischen Bundesamts (Destatis 2021a).

Abb. 3.3.30: Einfuhr von Gold nach NRW



Anteile an den gesamtdeutschen Einfuhren

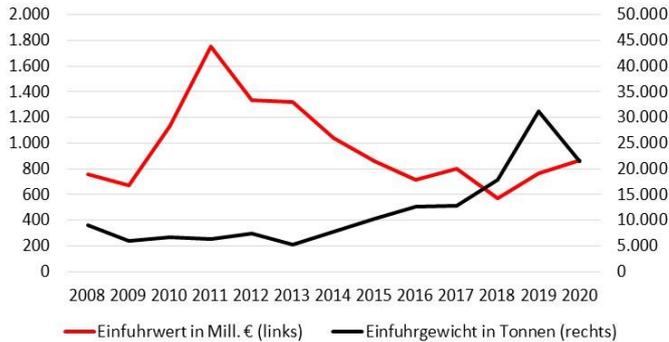
Eigene Darstellung und Berechnungen nach Angaben der Außenhandelsstatistik des Statistischen Bundesamts (Destatis 2021a).

Der Einfuhrwert hat sich gegenüber 2008 mehr als verdreifacht. Für NRW ist die Einfuhr von Gold allerdings nicht sehr bedeutend und erreicht im Betrachtungszeitraum mit 3% des deutschen Einfuhrwerts 2019 den höchsten Anteil.

Der Einfuhrwert von Silber hat sich im Betrachtungszeitraum dagegen unter Schwankungen kaum verändert (Abb. 3.3.31). Hintergrund dieser Entwicklungen sind die zugrundeliegenden Preisvolatilitäten, die bei Silber höher sind als bei Gold. Ursächlich dafür sind u.a. die unterschiedlichen Förderbedingungen und Nachfragerelationen. Der Anteil von NRW am deutschen Einfuhrwert hat sich in den letzten Jahren erhöht. Nachdem er bis 2014 bei durchgängig weniger als 2% lag, stieg er bis 2019 auf 17%, 2020 lag er dann bei 13% (Abb. 3.3.32).

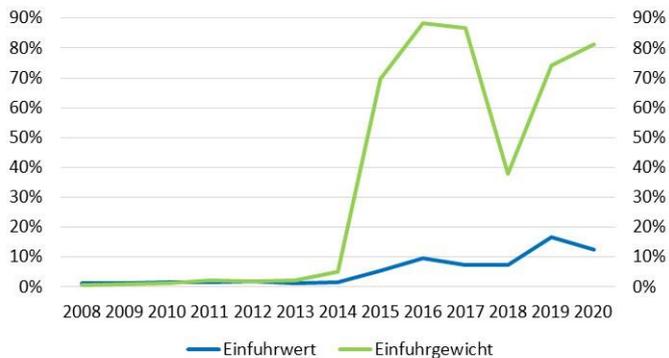
Investitionsgut darstellen und beim Goldpreis zudem die Notenbankpolitik eine bedeutende Rolle spielt, können damit zusätzliche Preiserhöhungen einhergehen, die dann auch in Hinblick auf die industriellen Anwendungen zu Buche schlagen, selbst wenn sich möglicherweise an der Nachfrage der Industrie nach Gold und Silber gar nichts verändert. Insofern sind Edelmetalle Rohstoffe mit einer speziellen Risikoklasse, gekennzeichnet durch spezifische Preisrisiken.

Abb. 3.3.31: Einfuhr von Silber nach Deutschland



Eigene Darstellung und Berechnungen nach Angaben der Außenhandelsstatistik des Statistischen Bundesamts (Destatis 2021a).

Abb. 3.3.32: Einfuhr von Silber nach NRW



Anteile an den gesamtdeutschen Einfuhren

Eigene Darstellung und Berechnungen nach Angaben der Außenhandelsstatistik des Statistischen Bundesamts (Destatis 2021a).

Gesamteinschätzung

Die Edelmetalle sind nicht nur Rohstoffe zur industriellen Nutzung. Zwar spielen sie auch in Hinblick auf verschiedene industrielle Anwendungen eine bedeutende Rolle (insbesondere Silber), sie sind darüber hinaus aber auch ein Wertaufbewahrungsmittel und werden als Schmuck verwendet. Zudem nehmen sie eine faktische Währungsfunktion wahr (vor allem Gold). Das macht die Preisbildung auf den Edelmetallmärkten komplexer und erhöht mitunter die Versorgungsrisiken.

Allerdings wird es wohl keine größeren physischen Versorgungsprobleme geben, da es auch in Deutschland erhebliche Edelmetallbestände in Form von Schmuck, Münzen, Barren oder Kunstgegenständen gibt. Zudem können Edelmetalle relativ gut recycelt werden. Da sie allerdings auch ein beliebtes

Risikoprofil der Platingruppenmetalle

Zu den risikobehafteten Platingruppenmetallen zählen Platin, Palladium und Rhodium. Hierbei handelt es sich um sehr wertvolle und zudem edle Metalle.

Vorräte

Nur bei Platin sind die Vorräte ein mittleres Risiko, bei den anderen Platingruppenmetallen ist es gering. Allerdings entfallen rund 90% der bekannten Reserven auf Südafrika.

Nachfrageentwicklung

Die Nachfrage nach den Platingruppenmetallen dürfte künftig steigen, insbesondere nach Palladium und Rhodium. Sie haben Bedeutung für die Chemische Industrie sowie die Elektronik- und Elektroindustrie, vor allem aber für die Automobilindustrie sowie Platin zudem in der Schmuckindustrie und für Münzen. Wichtigster Einsatzbereiche sind Katalysatoren und Brennstoffzellen in Automobilen (SÜDWIND et al. 2014: 22).

Länderkonzentration

Allen drei Platingruppenmetallen ist gemeinsam, dass die Konzentration der Förderländer sehr hoch ist. Südafrika und Russland sind die bedeutendsten Förderländer. Vorkommen gibt es auch in den USA und Kanada, die aber deutlich weniger bedeutend sind (sie umfassen zusammen rund ein Zehntel der gesamten Förderung).

Politische Risiken

Die politische Stabilität der Förderländer ist von einem bestenfalls mittleren Risiko gekennzeichnet.

Substituierbarkeit

Bei den Platingruppenmetallen gibt es einige Anwendungen betreffend Substitutionsmöglichkeiten. Zudem stellt sich im Zuge der Hinwendung zur Elektromobilität die Frage, inwieweit Brennstoffzellen und Abgaskatalysatoren die ihnen bislang prophezeite große Bedeutung zukommen wird. Sollte das nicht der Fall sein, wäre dies keine klassische Substitution auf der Einzelrohstoffebene, wohl aber auf der Produktebene.

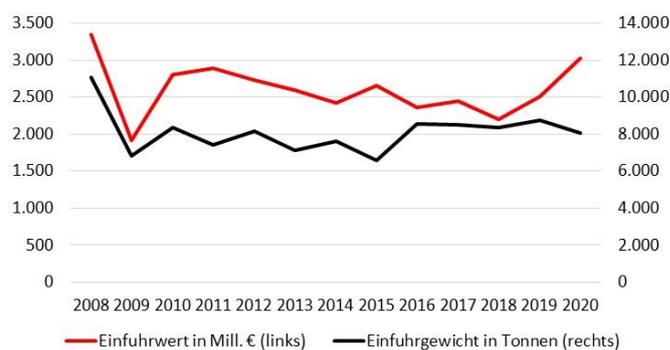
Recyclingfähigkeit

Die Recyclingfähigkeit ist bei allen drei Platingruppenmetallen hoch, vor allem bei Palladium und Rhodium.

Bedeutung für Deutschland und NRW

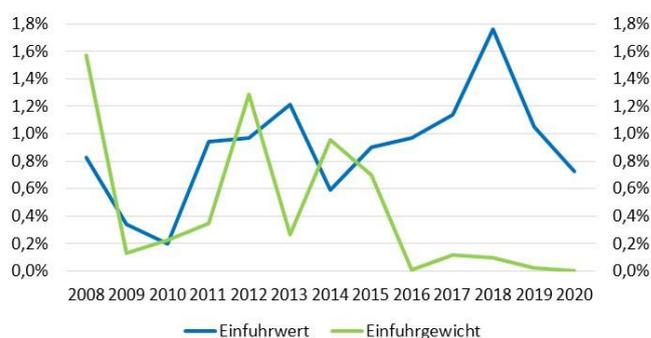
Die Einfuhrmenge nach Deutschland bewegt sich bei Platin um die 8 Tsd. Tonnen pro Jahr. Diese Menge wird zu über 99% vom Gewicht eingeführter Abfälle und Schrotte dominiert., der Einfuhrwert lag 2020 bei 3 Mrd. € (Abb. 3.3.33), wovon zwei Drittel auf Abfälle und Schrotte von Platin entfielen. Für NRW spielt Platin nahezu keine Rolle (Abb. 3.3.34).

Abb. 3.3.33: Einfuhr von Platin nach Deutschland



Eigene Darstellung und Berechnungen nach Angaben der Außenhandelsstatistik des Statistischen Bundesamts (Destatis 2021a).

Abb. 3.3.34: Einfuhr von Platin nach NRW

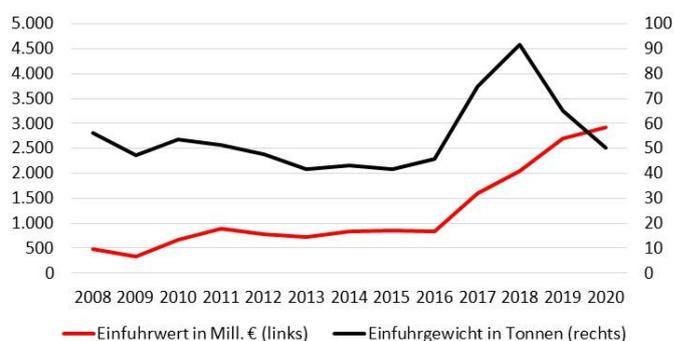


Anteile an den gesamtdeutschen Einfuhren

Eigene Darstellung und Berechnungen nach Angaben der Außenhandelsstatistik des Statistischen Bundesamts (Destatis 2021a).

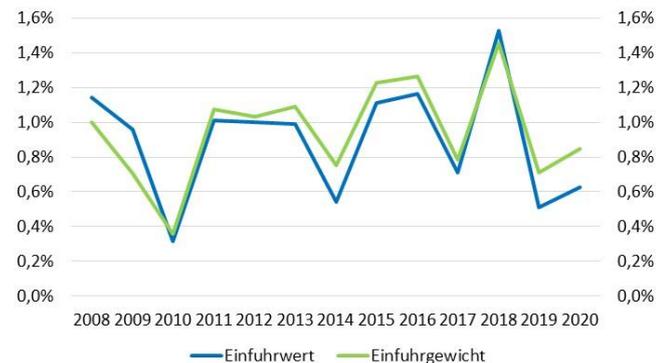
Da der auf die Gewichtseinheit bezogene Palladiumpreis sehr hoch ist und die Einsatzmengen vergleichsweise gering, wurden 2020 nur 50 Tonnen eingeführt und damit etwa so viel wie auch im Zeitraum von 2008 bis 2016 (Abb. 3.3.35). Nachdem der Einfuhrwert bis 2016 bei unter einer Mrd. € lag, stieg er 2020 auf knapp 3 Mrd. € an. Ausschlaggebend dafür waren die anziehenden Palladiumpreise. Palladium spielt für NRW zwar eine etwas größere Rolle als Platin, dennoch sind sowohl die Anteile an den deutschen Einfuhrmengen als auch an den Einfuhrwerten gering und gingen über den gesamten Betrachtungszeitraum hinweg nie über 2% hinaus (Abb. 3.3.36).

Abb. 3.3.35: Einfuhr von Palladium nach Deutschland



Eigene Darstellung und Berechnungen nach Angaben der Außenhandelsstatistik des Statistischen Bundesamts (Destatis 2021a).

Abb. 3.3.36: Einfuhr von Palladium nach NRW

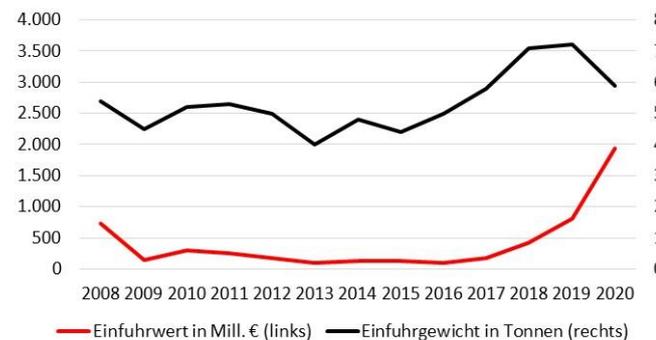


Anteile an den gesamtdeutschen Einfuhren

Eigene Darstellung und Berechnungen nach Angaben der Außenhandelsstatistik des Statistischen Bundesamts (Destatis 2021a).

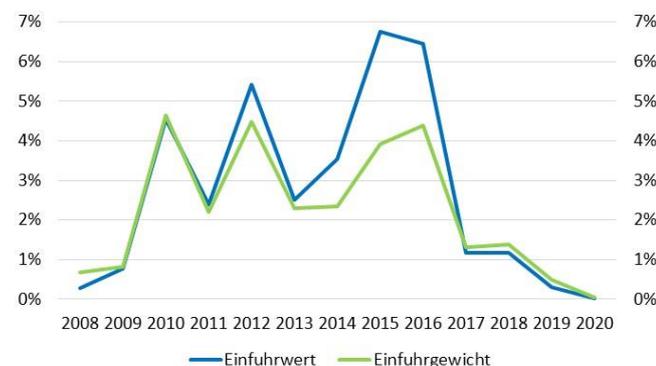
Die Einfuhrmenge von Rhodium nach Deutschland betrug 2020 nur knapp 6 Tonnen, der Einfuhrwert aber knapp 2 Mrd. € (Abb. 3.3.37). Zum Vergleich: 2016 fiel für 5 Tonnen nur ein Einfuhrwert in Höhe von 103 Mill € an. Die Preise für Rhodium sind demnach noch stärker gestiegen als die für Palladium. Rhodium spielt für NRW eine geringe Rolle. Zwar lag der Anteil am Einfuhrwert 2015 und 2016 bei über 6%, dieser ging dann aber im Zuge der preisbedingten Steigerung des deutschen Einfuhrwerts wieder zurück (Abb. 3.3.38).

Abb. 3.3.37: Einfuhr von Rhodium nach Deutschland



Eigene Darstellung und Berechnungen nach Angaben der Außenhandelsstatistik des Statistischen Bundesamts (Destatis 2021a).

Abb. 3.3.38: Einfuhr von Rhodium nach NRW



Anteile an den gesamtdeutschen Einfuhren

Eigene Darstellung und Berechnungen nach Angaben der Außenhandelsstatistik des Statistischen Bundesamts (Destatis 2021a).

Ruthenium, das ein mittleres Risiko aufweist, gehört auch zu den Platingruppenmetallen, die Außenhandelsstatistik ermöglicht hierzu aber keine Auswertungen, da entsprechende Daten nicht vorliegen. Es wird u.a. in Legierungen von Palladium oder Platin zur Erhöhung der Härte und der Korrosionsbeständigkeit eingesetzt, zudem als Material für Widerstände und Elektroden, beispielsweise zur Beschichtung von Titananoden in der Elektrolyse.

Rhenium, ein Metall aus der Mangangruppe, weist ebenfalls ein mittleres Risiko auf und ist als Beimischung in Legierungen mit Platin (Katalysatoren) oder Nickel (Turbinenschaufeln) enthalten. Die Außenhandelsstatistik ermöglicht zu Rhenium aber keine Auswertungen, da hierzu keine Daten vorliegen.

Gesamteinschätzung

Die Platingruppenmetalle spielen nach wie vor für viele industrielle Anwendungen eine wichtige Rolle. Die Preisturbulenzen der letzten Jahre haben dabei gezeigt, welche Auswirkungen Veränderungen auf den Rohstoffmärkten haben können. So ist der Einfuhrwert für die drei hier besprochenen Metalle Platin, Palladium und Rhodium innerhalb von nur vier Jahren um nahezu 5 Mrd. € gestiegen.

Hinsichtlich der künftigen Entwicklung der Nachfrage muss bedacht werden, dass eine der Zukunftstechnologien, die als ein Treiber der Nachfrage nach Platingruppenmetallen angesehen wird, nämlich der Antrieb mit Brennstoffzellen, vermutlich nicht in dem häufig angenommenen Umfang zum Tragen kommen wird. Mit einer Markteinführung ist erst 2030 zu rechnen und auch 2040 werden weltweit voraussichtlich nur etwa 4% der Fahrzeuge mit Brennstoffzellen angetrieben (IW et al. 2021: 10). In Hinblick auf das Ausmaß der Rohstoffrisiken schlagen die ausreichenden Vorräte, die eher mittlere bis geringe politische Instabilität der Förderländer sowie die teilweise gegebenen Substitutionsmöglichkeiten und die zugleich hohen Recyclingquoten positiv zu Buche. Das Recycling wird sich zudem im Zuge des Trends zu einer verstärkten Etablierung einer Kreislaufwirtschaft qualitativ weiter verbessern.

Die Marktentwicklung in den zurückliegenden Jahren betreffend, die von einem vorübergehenden Preisauftrieb bei den Platingruppenmetallen gekennzeichnet war, profitierte NRW davon, keinen so großen Anteil an diesen Märkten zu haben. Die zumeist niedrigen Anteile von NRW sowohl an den deutschen Einfuhrmengen als auch an den Einfuhrwerten der Platingruppenmetalle könnte bis zu einem gewissen Grad allerdings auch daher kommen, dass aufgrund der niedrigen Tonnagen gerade bei Palladium und Rhodium auch Einschränkungen hinsichtlich der statistischen Erfassung eine Rolle spielen (siehe auch den grauen Kasten zur Auswertung der Außenhandelsstatistik weiter oben). Insofern könnten die Werte für NRW etwas unterschätzt sein. Abgesehen davon gibt es aber strukturelle Gründe dafür, dass NRW hier niedrigere Anteile aufweist, insbesondere die vergleichsweise geringe Bedeutung der Automobil- und Elektronikindustrie sowie die generell stärkere Ausrichtung der Industrie auf die Herstellung von Grundstoffen (siehe dazu auch den Abs. 3.4).

Risikoprofil der Kohlenstoffgruppenmetalle

Die risikobehafteten Rohstoffe aus der Kohlenstoffgruppe umfassen Germanium, Silizium und Zinn (der Name von Germanium ist übrigens von Germania abgeleitet, da das Element seinerzeit in Deutschland entdeckt wurde).

Vorräte

Die Vorräte von Zinn sind sehr knapp, die von Germanium und Silizium implizieren aber ein geringes Risiko.

Nachfrageentwicklung

Germanium und Zinn werden künftig von starken Nachfragesteigerungen gekennzeichnet sein, während diese bei Silizium geringer ausfallen, sodass hierfür nur von einem mittleren Risiko auszugehen ist. Im Folgenden werden die wichtigsten industriellen Anwendungsbereiche der drei risikobehafteten Rohstoffe aus der Kohlenstoffgruppe aufgeführt:

- **Germanium:** u.a. Glasfaserkabel, Photovoltaik
- **Silizium:** u.a. Computerchips, Transistoren, Photovoltaik
- **Zinn:** u.a. Lötzinn, Leiterplatten, Brennstoffzellen, Kondensatoren, Windkraftanlagen, Bronze, Zinnfiguren

Länderkonzentration

Die Länderkonzentration ist bei allen drei risikobehafteten Rohstoffen der Kohlenstoffgruppe hoch. Bei Germanium und Silizium ist jeweils China das Land mit dem höchsten Förderanteil. Bei Zinn ist die Struktur der Förderländer zwar diversifizierter, wobei China, Indonesien und Myanmar die höchsten Förderanteile aufweisen, allerdings ist die Konzentration bei der Raffinadeproduktion und der Zinnerzaufbereitung hoch.

Politische Risiken

Die politischen Risiken sind vor allem bei Germanium hoch, da China fast vier Fünftel der Raffinadeproduktion beisteuert. Aber auch Silizium und Zinn weisen mittlere Risiken hinsichtlich der politischen Stabilität der Förderländer auf.

Substituierbarkeit

Die Ersetzbarkeit durch andere, weniger risikobehaftete Rohstoffe ist bei Silizium gering. Bei Germanium und Zinn ist zumindest bei einigen Anwendungen eine Substitution möglich.

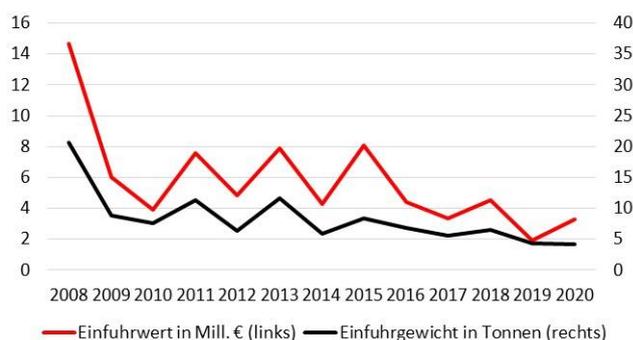
Recyclingfähigkeit

Die Kosten für das Recycling von Germanium liegen theoretisch sogar unter den Gewinnungskosten für die Primärproduktion, da die Konzentrationen in Produkten höher sind als in der Erdkruste, dennoch findet noch kein bedeutendes Recycling statt. Bei Siliziummetall funktioniert das Recycling noch nicht, bei Glas aus Silicium und bei Zinn dagegen schon gut.

Bedeutung für Deutschland und NRW

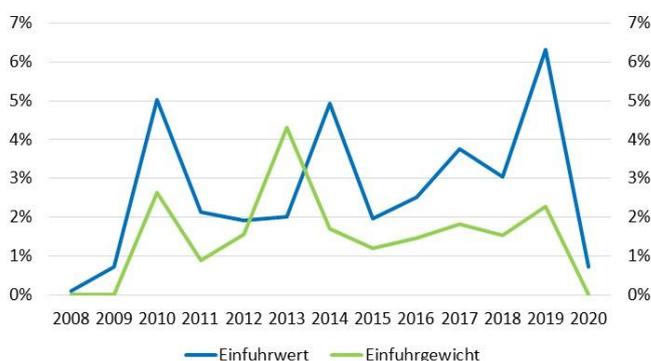
Germanium spielt bislang in Deutschland eine eher untergeordnete Rolle. Seit 2008 ist die Einfuhrmenge tendenziell gefallen; 2020 lag sie noch bei gut 4 Tonnen, der Einfuhrwert bei 3,3 Mill. € (Abb. 3.3.39). Der auf NRW entfallende Anteil des Einfuhrwerts, der 2019 noch 6% betrug, sank 2020 auf nur noch knapp 1% (Abb. 3.3.40). Auch hier gilt allerdings die Einschränkung, dass bei derart geringen Einfuhren selbst auf der Bundesebene, der Anteil, der auf NRW entfällt, aufgrund von Geheimhaltungsfällen unterbewertet sein kann.

Abb. 3.3.39: Einfuhr von Germanium nach Deutschland



Eigene Darstellung und Berechnungen nach Angaben der Außenhandelsstatistik des Statistischen Bundesamts (Destatis 2021a).

Abb. 3.3.40: Einfuhr von Germanium nach NRW

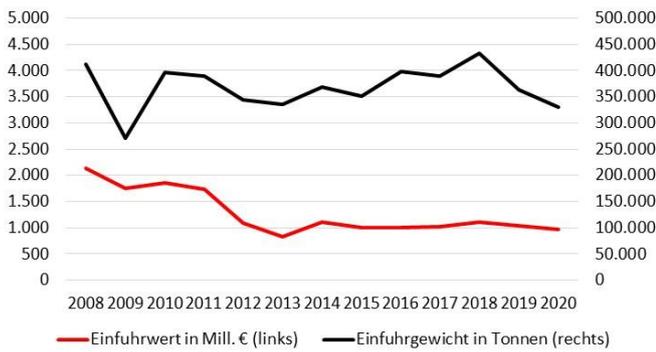


Anteile an den gesamtdeutschen Einfuhren

Eigene Darstellung und Berechnungen nach Angaben der Außenhandelsstatistik des Statistischen Bundesamts (Destatis 2021a).

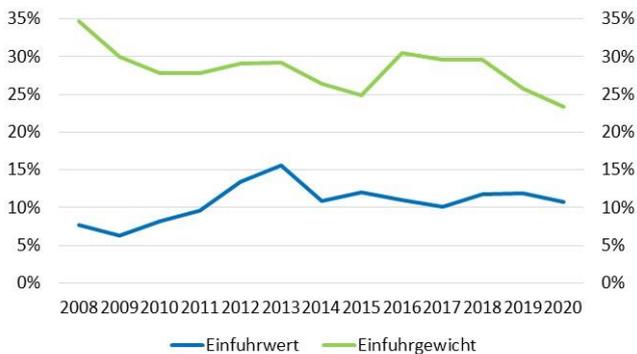
Bei Silizium bewegten sich die Einfuhrmengen in einem engen Korridor. Seit 2013 war zwar bis 2018 ein leichter Aufwärtstrend zu verzeichnen, in den beiden letzten Jahren ging die Einfuhrmenge dann aber wieder von 432 auf 330 Tsd. Tonnen zurück, sodass sie in etwa wieder das Niveau von 2013 erreichte (Abb. 3.3.41). Der Einfuhrwert von Silizium, der 2008 noch bei mehr als 2 Mrd. € lag, sank in der Folgezeit bis zum Jahr 2013 auf einen Wert von unter einer Mrd. €. Seitdem schwankt er um die Marke von einer Mrd. € herum und lag 2020 wieder leicht darunter. Der Anteil von NRW am Einfuhrwert von Silizium stieg zunächst von 2009 bis 2013 von 6% auf 16%, um sich im Anschluss bei Anteilen zwischen 10% und 12% einzupendeln (Abb. 3.3.42).

Abb. 3.3.41: Einfuhr von Silizium nach Deutschland



Eigene Darstellung und Berechnungen nach Angaben der Außenhandelsstatistik des Statistischen Bundesamts (Destatis 2021a).

Abb. 3.3.42: Einfuhr von Silizium nach NRW

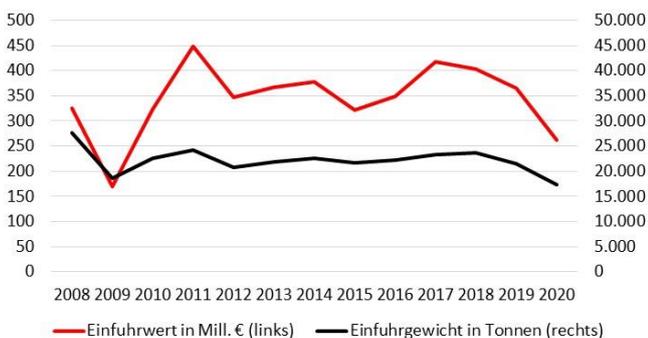


Anteile an den gesamtdeutschen Einfuhren

Eigene Darstellung und Berechnungen nach Angaben der Außenhandelsstatistik des Statistischen Bundesamts (Destatis 2021a).

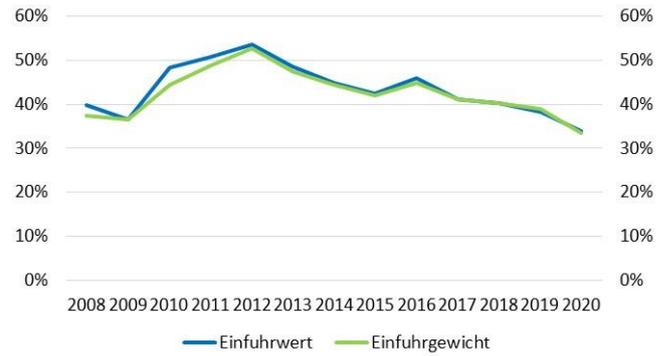
Die Einfuhrmenge von Zinn bewegte sich im Betrachtungszeitraum meist zwischen 21 Tsd. und 24 Tsd. Tonnen (Abb. 3.3.43). Erst in den letzten zwei Jahren sank sie von 24 Tsd. (2018) auf 17 Tsd. Tonnen (2020). Der Einfuhrwert ging zuletzt ebenfalls deutlich zurück, und zwar von 417 Mill. € (2017) auf nur noch 261 Mill. € (2020). Der Anteil von NRW ist beträchtlich: Nach Spitzenwerten für die Einfuhrmenge und den Einfuhrwert in Höhe von 53% der deutschen Einfuhren in 2012, sanken die Anteile im Anschluss daran relativ kontinuierlich bis auf nur noch 34% im Jahr 2020 (Abb. 3.3.44).

Abb. 3.3.43: Einfuhr von Zinn nach Deutschland



Eigene Darstellung und Berechnungen nach Angaben der Außenhandelsstatistik des Statistischen Bundesamts (Destatis 2021a).

Abb. 3.3.44: Einfuhr von Zinn nach NRW



Anteile an den gesamtdeutschen Einfuhren

Eigene Darstellung und Berechnungen nach Angaben der Außenhandelsstatistik des Statistischen Bundesamts (Destatis 2021a).

Gesamteinschätzung

Germanium hat noch nicht den Stellenwert erlangt, der häufig mit diesem Rohstoff verbunden wird. Das einstweilige Abflauen der Einfuhren hängt vermutlich mit der Krise der deutschen Photovoltaikindustrie zusammen und auch mit dem zum Teil schleppenden Ausbau des Glasfasernetzes.

Der Wert der Siliziumeinfuhren ist zwar ebenfalls zurückgegangen, was aber eher mit dem Preisverfall bei Halbleitern zu tun haben dürfte. Die Einfuhrmengen haben sich jedenfalls weitgehend auf hohem Niveau gehalten. Interessant ist, dass NRW bei Silizium überproportionale Anteile an den Einfuhrwerten aufweist, und zwar trotz der unterrepräsentierten Elektronikindustrie im Land (siehe dazu auch den Abs. 3.4).

Die Einfuhren von Zinn waren im zurückliegenden Jahrzehnt auch eher von einer Stagnation geprägt. Der Anteil von NRW an den deutschen Zinneinfuhren ist zwar tendenziell rückläufig, aber immer noch recht hoch. Das hängt nicht nur mit der generellen Stärke der Metallindustrie in NRW zusammen, sondern vor allem mit den ausgewiesenen und sehr leistungsstarken Zinnhütten, die hier ihren Standort haben.

Risikoprofil der Borgruppenmetalle

Zu den Elementen der Borgruppe gehören die beiden risikobehafteten Rohstoffe Gallium und Indium.

Vorräte

Vorräte sind bei Gallium ausreichend vorhanden, bei Indium stellen sie ein mittleres Risiko dar.

Nachfrageentwicklung

Die Nachfrage nach den beiden Rohstoffen Gallium und Indium dürfte im Zuge der sich vollziehenden Energiewende künftig deutlich steigen. Dies wird sich u.a. auf die folgenden Anwendungen beziehen:

- **Gallium:** u.a. Leuchtdioden, Solarzellen
- **Indium:** u.a. Displays, Transistoren, Lote, Dünnschicht-photovoltaik, Korrosionsschutz von Stählen

Länderkonzentration

China ist das mit großem Abstand wichtigste Förderland für Gallium und auch das wichtigste für Indium. Gallium fällt als Nebenprodukt der Aluminium- oder Zinkgewinnung an.

Politische Risiken

Aufgrund der großen Bedeutung von China für die Förderung von Gallium und Indium sind auch die politischen Risiken entsprechend hoch.

Substituierbarkeit

Während die Substituierbarkeit bei Gallium gering ausfällt, ist Indium einige Anwendungen betreffend substituierbar.

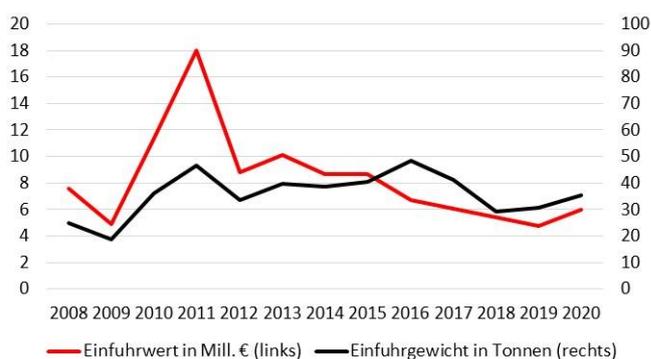
Recyclingfähigkeit

Es werden zwar die industriellen Produktionsabfälle recycelt, ein Recycling der in den Produkten enthaltenen Rohstoffe findet dagegen bisher kaum statt.

Bedeutung für Deutschland und NRW

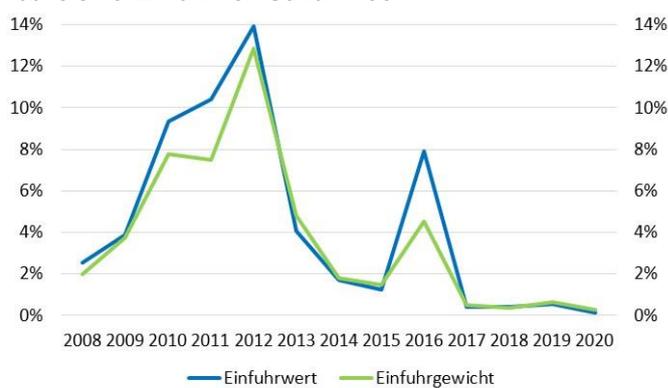
Im Jahr 2020 wurden 35 Tonnen Gallium nach Deutschland eingeführt. Der Einfuhrwert von Gallium hat sich seit 2011 in etwa gedrittelt und lag 2020 nur noch bei 6 Mill. € (Abb. 3.3.45). Die auf NRW entfallenden Anteile an den deutschen Einfuhren von Gallium sind in den letzten Jahren ebenfalls stark zurückgegangen. Nachdem 2012 noch 14% des Einfuhrwerts von Gallium auf NRW waren es in den letzten Jahren weniger als 1% (Abb. 3.3.46).

Abb. 3.3.45: Einfuhr von Gallium nach Deutschland



Eigene Darstellung und Berechnungen nach Angaben der Außenhandelsstatistik des Statistischen Bundesamts (Destatis 2021a).

Abb. 3.3.46: Einfuhr von Gallium nach NRW

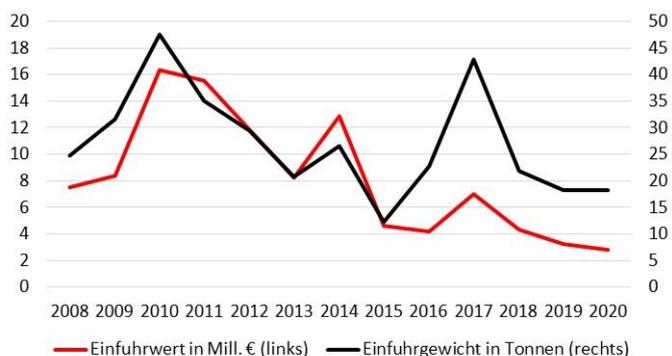


Anteile an den gesamtdeutschen Einfuhren

Eigene Darstellung und Berechnungen nach Angaben der Außenhandelsstatistik des Statistischen Bundesamts (Destatis 2021a).

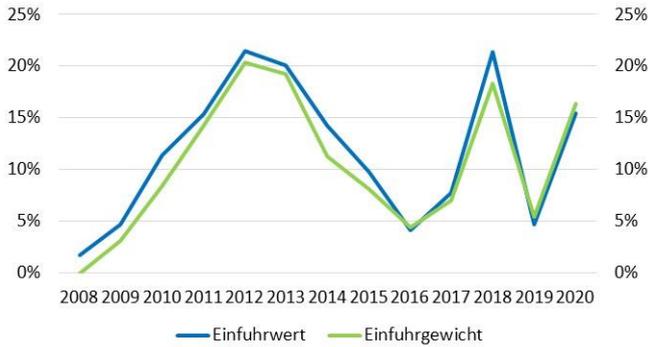
Bei Indium zeigt sich tendenziell ein ähnliches Bild wie bei Gallium. Das Gewicht der Einfuhren von Indium nach Deutschland ging von 48 Tonnen im Jahr 2010 auf nur noch 18 Tonnen im Jahr 2020 zurück, der Einfuhrwert im gleichen Zeitraum sogar von 16 Mill. auf 3 Mill. € (Abb. 3.3.47). Die Anteile von NRW an den Einfuhren von Indium schwankten zwar deutlich, sie lagen zeitweise aber bei über 20% und 2020 bei 16% beim Einfuhrgewicht bzw. 15% beim Einfuhrwert (Abb. 3.3.48).

Abb. 3.3.47: Einfuhr von Indium nach Deutschland



Eigene Darstellung und Berechnungen nach Angaben der Außenhandelsstatistik des Statistischen Bundesamts (Destatis 2021a).

Abb. 3.3.48: Einfuhr von Indium nach NRW



Anteile an den gesamtdeutschen Einfuhren

Eigene Darstellung und Berechnungen nach Angaben der Außenhandelsstatistik des Statistischen Bundesamts (Destatis 2021a).

Gesamteinschätzung

Gallium und Indium sind zwei der mit am intensivsten diskutierten risikobehafteten Rohstoffe, da sie vor dem Hintergrund der Energiewende oder auch der Dekarbonisierung der Wirtschaft immer wieder sehr stark im Fokus standen. Bei Lichte betrachtet zeigt sich aber, dass deren Bedeutung bei weitem nicht so groß ist, wie das angesichts der Diskussionen gelegentlich erscheinen mag. So erreichten diese beiden Rohstoffe zusammen im Jahr 2020 nicht einmal einen Einfuhrwert von 10 Mill. €. Zudem war der Trend in den zurückliegenden zehn Jahren deutlich abwärtsgerichtet, wobei hier ein enger Zusammenhang zum zwischenzeitlichen Niedergang der Solarindustrie in Deutschland stehen dürfte.

Das kann sich künftig aber auch schnell wieder ändern. Zum einen ist es durchaus denkbar, dass aufgrund der Entwicklungen auf den globalen Rohstoffmärkten die Preise für jene Rohstoffe, die im Kontext zur Entwicklung der regenerativen Energien stehen, deutlich anziehen. Zum anderen könnte sich auch die Nachfrage nach diesen Rohstoffen wieder erhöhen, wenn sich beispielsweise die damit im Zusammenhang stehenden Zukunftstechnologien entfalten und etablieren sollten (siehe dazu auch den Abs. 3.4).

Risikoprofil der Vanadiumgruppenmetalle

Niob, Tantal und Vanadium sind risikobehaftete Rohstoffe, die zur Vanadiumgruppe gehören.

Vorräte

Die Vorräte bergen bei Tantal ein hohes Risiko, während für Niob und vor allen für Vanadium große Vorräte zu verzeichnen sind, sodass das Risiko entsprechend gering ist.

Nachfrageentwicklung

Die Nachfrage wird wohl bei allen drei Rohstoffen ansteigen, wenn auch die zu erwartenden Steigerungsraten nur ein mittleres Niveau haben dürften. Die folgenden industriellen Anwendungen stehen dabei im Vordergrund:

- **Niob:** u.a. Veredlung von Stählen, supraleitende Drähte
- **Tantal:** u.a. Kondensatoren, Leiterplatten
- **Vanadium:** u.a. Legierung von Metallen wie Aluminium, Chrom, Mangan, Nickel und Titan

Länderkonzentration

Die Länderkonzentration ist bei allen drei Rohstoffen hoch, sodass von Seiten dieses Kriteriums ein hohes Risiko ausgeht.

Politische Risiken

Die politische Instabilität der Förderländer ist allerdings überschaubar, sodass hiervon nur ein mittleres Risiko ausgeht.

Substituierbarkeit

Während Tantal (z.B. durch Platin oder Titan) und Vanadium substituiert werden können, ist das bei Niob nicht der Fall.

Recyclingfähigkeit

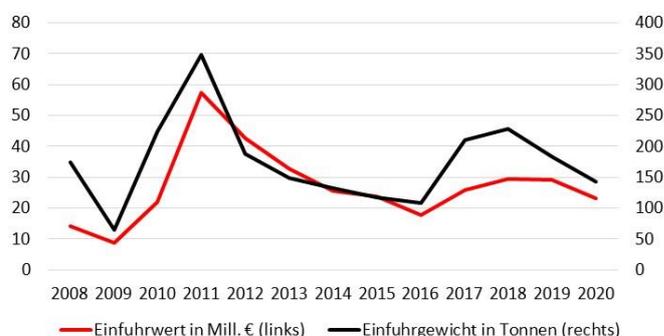
Ein Recycling von Niob findet bislang alleine schon deshalb kaum statt, weil der Großteil der bisherigen Fördermenge noch im ersten Produktzyklus gebunden ist (DECHEMA 2015: 44). Aufgrund der guten Versorgungslage und der geringen Konzentration von Niob im Stahl ist ein Recycling aber auch nicht so dringlich und wirtschaftlich zudem nicht sonderlich aussichtsreich. Das Recycling von Tantal aus Kondensatoren ist bislang nicht sehr ausgeprägt. Die Rückgewinnung aus Schlacken der Zinnverhüttung ist dagegen weit entwickelt, wenngleich hier einstweilen noch viele Probleme ungelöst sind. Bei Vanadium findet bislang praktisch kein Recycling statt.

Bedeutung für Deutschland und NRW

Nachdem 2011 noch 359 Tonnen Tantal nach Deutschland eingeführt wurden, waren es 2020 nur noch 143 (Abb. 3.3.49). Ähnlich wie bei Platin haben auch bei Tantal die Einfuhren von

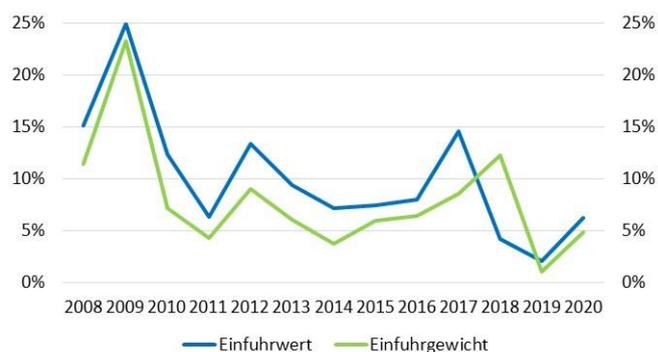
Abfällen und Schrotten einen großen Anteil am Gewicht (2020 mehr als 60%). Der Einfuhrwert sank entsprechend von 57 Mill. € in 2011 auf nur noch 23 Mill. € in 2020. Der Anteil von NRW an den deutschen Einfuhren ging tendenziell zurück, und zwar von 23% (Einfuhrgewicht) bzw. 25% (Einfuhrwert) in 2009 auf 5% bzw. 6% in 2020 (Abb. 3.3.50).

Abb. 3.3.49: Einfuhr von Tantal nach Deutschland



Eigene Darstellung und Berechnungen nach Angaben der Außenhandelsstatistik des Statistischen Bundesamts (Destatis 2021a).

Abb. 3.3.50: Einfuhr von Tantal nach NRW

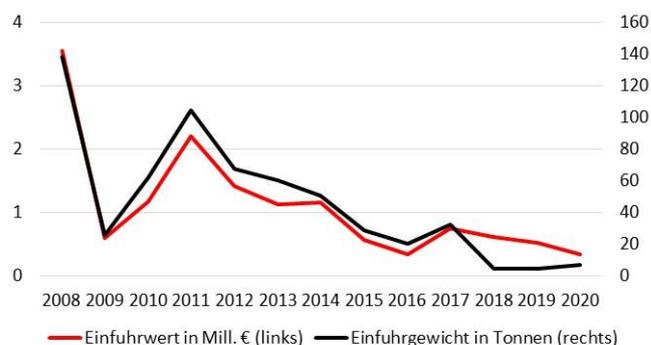


Anteile an den gesamtdeutschen Einfuhren

Eigene Darstellung und Berechnungen nach Angaben der Außenhandelsstatistik des Statistischen Bundesamts (Destatis 2021a).

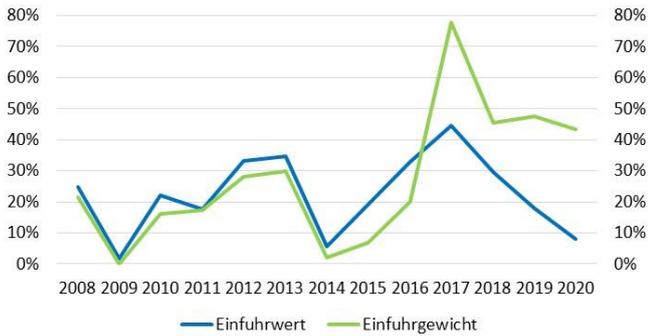
Die Einfuhr von Vanadium ging seit 2008 um ca. 90% auf 0,34 Mill. € in 2020 zurück, weshalb die Anteile von NRW auch nur bedingt aussagekräftig sind (Abb. 3.3.51 und 3.3.52).

Abb. 3.3.51: Einfuhr von Vanadium nach Deutschland



Eigene Darstellung und Berechnungen nach Angaben der Außenhandelsstatistik des Statistischen Bundesamts (Destatis 2021a).

Abb. 3.3.52: Einfuhr von Vanadium nach NRW



Anteile an den gesamtdeutschen Einfuhren

Eigene Darstellung und Berechnungen nach Angaben der Außenhandelsstatistik des Statistischen Bundesamts (Destatis 2021a).

Für Niob liegen in der Außenhandelsstatistik keine Daten vor, sodass hierfür auch keine entsprechenden Auswertungen vorgenommen werden konnten.

Gesamteinschätzung

Die Einfuhren der risikobehafteten Rohstoffe aus der Vanadiumgruppe haben im Zeitverlauf zum Teil recht deutlich an Bedeutung verloren. Besonders prägnant kommt dies bei Vanadium selbst zum Ausdruck. Allerdings ist die Datenbasis etwas eingeschränkt, da für Niob keine Ergebnisse aus der Außenhandelsstatistik vorlagen und die Volumina der beiden anderen Rohstoffe aus dieser Gruppe recht gering sind. Insbesondere bei Tantal, aber auch bei Niob und Vanadium gibt es verschiedene Anwendungen, die vor dem Hintergrund der zunehmenden Etablierung von Zukunftstechnologien einen künftig steigenden Bedarf erwarten lassen.

Risikoprofil der Chromgruppenmetalle

Zu den risikobehafteten Rohstoffen der Chromgruppe gehören neben Chrom auch Molybdän und Wolfram.

Vorräte

Die Höhe der bekannten Vorräte stellt insbesondere bei Chrom ein hohes Risiko, wohingegen sie bei Molybdän und Wolfram von einem mittleren Risiko gekennzeichnet ist.

Nachfrageentwicklung

Es werden für alle drei Rohstoffe Nachfragesteigerungen erwartet, allerdings resultieren daraus aus heutiger Sicht nur mittlere Risiken. Dabei werden insbesondere folgenden industrielle Anwendungen adressiert:

- **Chrom:** u.a. Edelstahllegierungen, Superlegierungen, Katalysatoren, Hochtemperaturziegel, Farben, Gerbstoffe
- **Molybdän:** u.a. Stahlhärtung, Ferro-Molybdän
- **Wolfram:** u.a. Hartmetalllegierungen z.B. für Turbinen, Brennstoffzellen oder Öfen, Leuchtmittel

Länderkonzentration

Südafrika ist mit dem Bushveld-Komplex, wo auch Platin abgebaut wird, der wichtigste Chromhersteller (etwa die Hälfte der weltweiten Förderung stammt von hier). Chrom wird auch in der EU gewonnen (z.B. in Finnland), allerdings in vergleichsweise geringen Mengen. Bei Molybdän entfallen mehr als zwei Fünftel der weltweiten Förderung dagegen auf China, bei Wolfram sind es sogar mehr als vier Fünftel.

Politische Risiken

Bei Wolfram sind demzufolge auch die politischen Risiken hoch, die beiden anderen Rohstoffe verzeichnen dies betreffend ein mittleres Risiko.

Substituierbarkeit

Chrom und Molybdän sind nicht substituierbar, Molybdän und Titan sind aber Substitutionsmetalle für Wolfram, was aber mit höheren Kosten und ungünstigeren Eigenschaften verbunden ist und so gesehen keine sinnvolle Alternative darstellt.

Recyclingfähigkeit

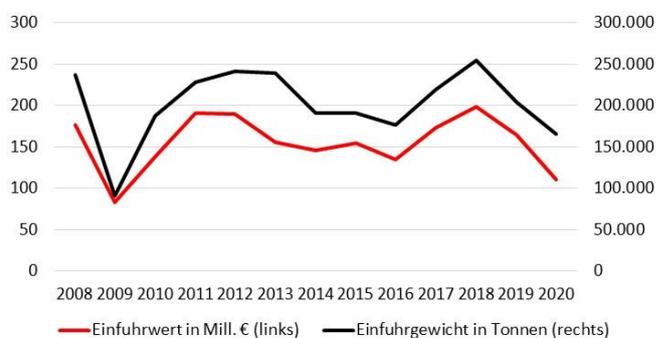
Ein Recycling von Chrom findet schon reichlich statt, es ist allerdings noch verbesserungswürdig, ähnliches gilt für Molybdän. Bei Schrotten ist das Recycling von Wolfram etabliert. Aufgrund des höheren Gehalts ist es zudem wirtschaftlicher als die Primärrohstoffgewinnung. Wolframhaltige Schrotte werden allerdings meist von China aufgekauft, das ein kostengünstigeres Recycling vornehmen kann. Die höchsten Anforderungen an die Verfahrenstechnik stellt der Stoffstrom der

Rückstände aus dem Recycling von Wolframsuperlegierungen dar. Meist handelt es sich dabei um hochwertige Nickel-basierte Legierungen mit Rhenium, Wolfram, Tantal, Titan, Kobalt, Chrom und Hafnium (DECHEMA 2015: 51). Bei allen Verfahren ist neben dem Hauptprodukt Wolfram auch die Rückgewinnung von Kobalt, Nickel, Kupfer, Silber und Tantal technisch möglich und wird praktiziert.

Bedeutung für Deutschland und NRW

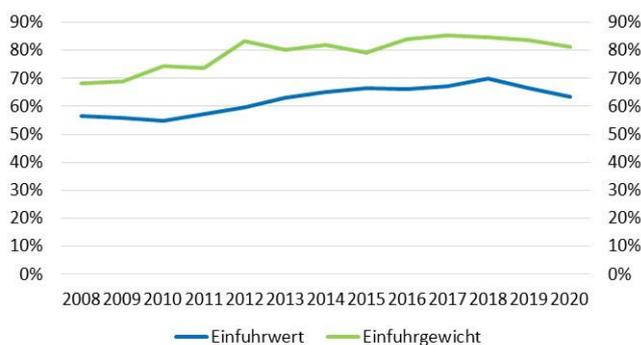
Die Entwicklung der Einfuhren von Chrom nach Deutschland verlief uneinheitlich und ohne eine klare Richtung. 2020 wurden 165 Tsd. Tonnen für 110 Mill. € eingeführt (Abb. 3.3.53). NRW weist dagegen nicht nur sehr hohe Anteile an den deutschen Einfuhren aus, sondern auch eine klare, leicht aufwärtsgerichtete Tendenz (Abb. 3.3.54).

Abb. 3.3.53: Einfuhr von Chrom nach Deutschland



Eigene Darstellung und Berechnungen nach Angaben der Außenhandelsstatistik des Statistischen Bundesamts (Destatis 2021a).

Abb. 3.3.54: Einfuhr von Chrom nach NRW

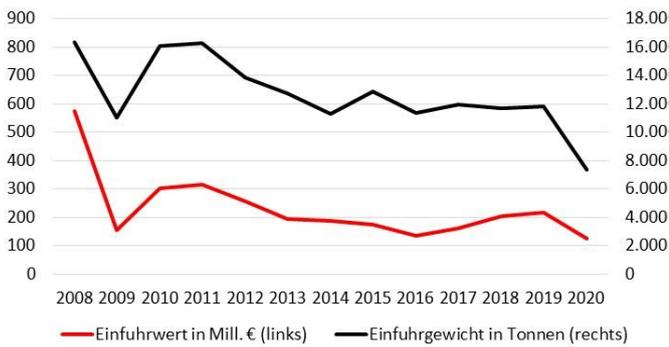


Anteile an den gesamtdeutschen Einfuhren

Eigene Darstellung und Berechnungen nach Angaben der Außenhandelsstatistik des Statistischen Bundesamts (Destatis 2021a).

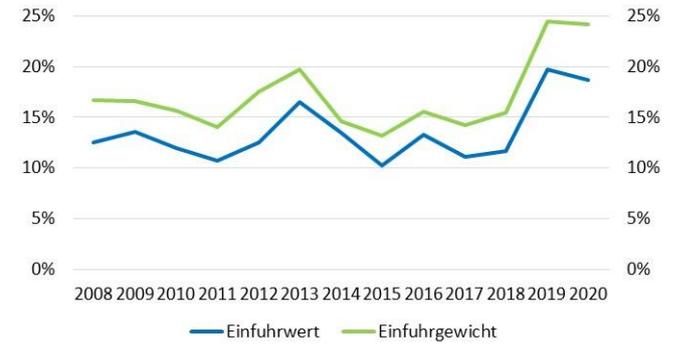
Anders hingegen stellt sich die Situation für NRW bei Molybdän dar. Die Einfuhren nach Deutschland gingen sowohl bezogen auf die Mengen als auch die Werte im Zeitverlauf tendenziell zurück. 2020 wurden noch gut 7 Tsd. Tonnen für 125 Mill. € eingeführt (Abb. 3.3.55). NRW hat alles in allem seinen hohen Anteil an den Einfuhren über den Betrachtungszeitraum hinweg gehalten (Abb. 3.3.56). Das bedeutet aber, dass sich der für den Bundesdurchschnitt festgestellte Rückgang auch in NRW vollzogen hat.

Abb. 3.3.55: Einfuhr von Molybdän nach Deutschland



Eigene Darstellung und Berechnungen nach Angaben der Außenhandelsstatistik des Statistischen Bundesamts (Destatis 2021a).

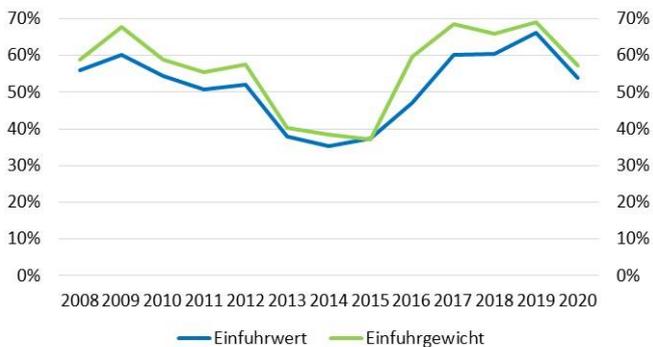
Abb. 3.3.58: Einfuhr von Wolfram nach NRW



Anteile an den gesamtdeutschen Einfuhren

Eigene Darstellung und Berechnungen nach Angaben der Außenhandelsstatistik des Statistischen Bundesamts (Destatis 2021a).

Abb. 3.3.56: Einfuhr von Molybdän nach NRW



Anteile an den gesamtdeutschen Einfuhren

Eigene Darstellung und Berechnungen nach Angaben der Außenhandelsstatistik des Statistischen Bundesamts (Destatis 2021a).

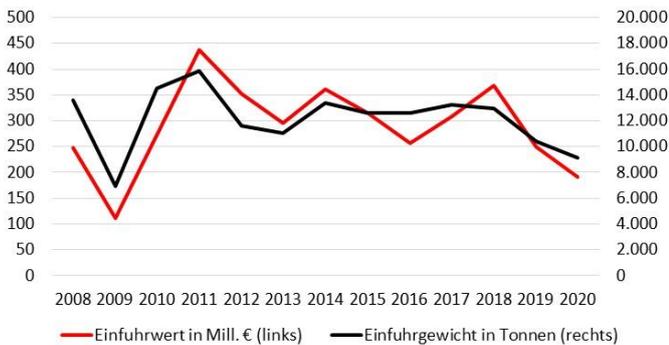
Gesamteinschätzung

Die Höhe der Einfuhren der risikobehafteten Rohstoffe der Chromgruppe weisen auf Bundesebene eine stagnierende bis leicht zurückgehende Entwicklung auf. Die Anteile an den Einfuhren konnte NRW halten bzw. sogar leicht ausbauen und die NRW-Industrie dadurch ihre Position – positiv betrachtet – leicht ausbauen, es sei denn, das würde – negativ betrachtet – bedeuten, dass NRW seine Rohstoffintensität nicht reduziert und damit auch die Rohstoffeffizienz nicht verbessert hätte.

Vor dem Hintergrund, dass es sich hier meist um Rohstoffe handelt, die auch Zukunftstechnologien adressieren, ist es nicht pauschal positiv, Anteile an den Einfuhren zu reduzieren, da hohe Anteile auch ein Indiz dafür sein können, dass eine bestimmte Markstellung gesichert werden konnte.

Auch die Einfuhren von Wolfram verliefen uneinheitlich und mit keiner klaren Tendenz. 2020 wurden für etwas mehr als 9 Tsd. Tonnen 191 Mill. € ausgegeben (Abb. 3.3.57). NRW weist bei Wolfram keine überproportionalen Anteile an den deutschen Einfuhren auf, sondern eher einen Anteil, der dem an den Beschäftigten oder der Wertschöpfung entspricht. Zumindest gab es zuletzt aber noch einmal einen kleinen Sprung nach oben, sodass beispielsweise der Anteil am deutschen Einfuhrwert immerhin von 13% in 2008 bis auf 19% in 2020 gesteigert wurde (Abb. 3.3.58).

Abb. 3.3.57: Einfuhr von Wolfram nach Deutschland



Eigene Darstellung und Berechnungen nach Angaben der Außenhandelsstatistik des Statistischen Bundesamts (Destatis 2021a).

Risikoprofil von Antimon

Vorräte

Die begrenzten Vorräte, die für Antimon bekannt sind, stellen ein hohes Risiko dar.

Nachfrageentwicklung

Antimon ist ein Legierungsmetall zur Erhöhung der Festigkeit und Korrosionsbeständigkeit. Einsatz findet dies u.a. in Bleiakumulatoren, als Flammenschutzadditiv in Kunststoffen oder als Katalysator zur Erzeugung von PET. Als Technologien mit Zukunftspotenzial werden u.a. die Herstellung von Halbleitern, von Mikrocondensatoren und von Displays adressiert.

Länderkonzentration

China hat bei Antimon einen sehr hohen Förderanteil. Insofern stellt dieser Faktor ein hohes Risiko dar.

Politische Risiken

Das gilt auch für die politischen Risiken, die aufgrund des hohen Anteils an der Förderung Chinas hoch sind.

Substituierbarkeit

Die Substituierbarkeit von Antimon ist bei einigen Anwendungen möglich.

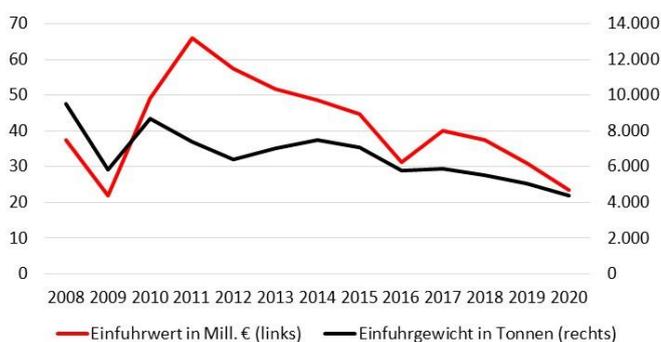
Recyclingfähigkeit

Ein Recycling von Antimon ist möglich und wird praktiziert, die Verfahren müssen aber noch weiterentwickelt werden.

Bedeutung für Deutschland und NRW

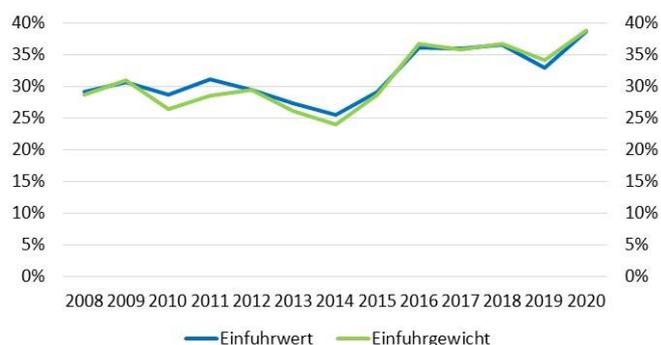
Die Einfuhrmengen und -werte von Antimon sind rückläufig und haben sich seit 2010 etwa halbiert (Abb. 3.3.59). Die Anteile von NRW an den deutschen Einfuhren haben sich dagegen von 2008 bis 2020 bezogen auf die Einfuhrmengen wie auch die Einfuhrwerte von 29% auf 39% erhöht (Abb. 3.3.60).

Abb. 3.3.59: Einfuhr von Antimon nach Deutschland



Eigene Darstellung und Berechnungen nach Angaben der Außenhandelsstatistik des Statistischen Bundesamts (Destatis 2021a).

Abb. 3.3.60: Einfuhr von Antimon nach NRW



Anteile an den gesamtdeutschen Einfuhren

Eigene Darstellung und Berechnungen nach Angaben der Außenhandelsstatistik des Statistischen Bundesamts (Destatis 2021a).

Gesamteinschätzung

Die Entwicklungen im Zusammenhang mit dem Rohstoff Antimon sind durchaus bemerkenswert. Während sich der Trend auf der Bundesebene eindeutig negativ vollzieht, zeichnet sich NRW – anders als bei einigen anderen Rohstoffen, bei denen das Land sehr stark vertreten ist – durch eine relative Stärke aus, indem es seine Position sogar noch ausbauen konnte. Dies ist auch deshalb bemerkenswert, da Antimon nicht nur im Zusammenhang mit Anwendungen in der Chemischen Industrie steht (z.B. Kunststoffherstellung), sondern auch Zukunftstechnologien in der Elektronik- und Elektroindustrie adressiert.

Risikoprofil von Magnesium

Vorräte

Vorräte von Magnesium sind reichlich vorhanden und stellen somit keinen besonderen Risikofaktor dar.

Nachfrageentwicklung

Metallisches Magnesium hat – vor allem im Verbund mit Aluminium – große Bedeutung als Leichtbauwerkstoff, um die Festigkeit und Korrosionsbeständigkeit zu erhöhen. Zum Einsatz kommt dies vor allem in der Unterhaltungselektronik und im Fahrzeugbau. Magnesiumverbindungen sind zudem für Feuerfestmaterialien und als Düngemittel bedeutsam. Da bei der Aluminiumnachfrage von einer Nachfragesteigerung auszugehen ist, dürfte das auch für Magnesium der Fall sein.

Länderkonzentration

Die Konzentration der Länder zur Förderung von Magnesium ist hoch (China vereinigt neun Zehntel der Förderung auf sich).

Politische Risiken

Die politischen Risiken sind aufgrund der großen Bedeutung von China als Magnesiumförderland entsprechend hoch.

Substituierbarkeit

Die Substituierbarkeit von Magnesium ist gering, aber teilweise durch Aluminium oder Zink möglich.

Recyclingfähigkeit

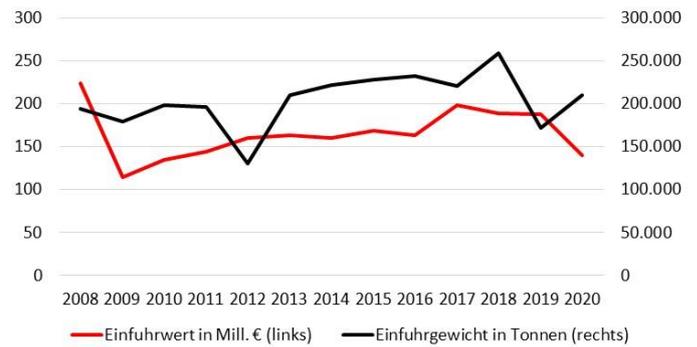
Magnesium wird meist im Zusammenhang mit dem Recycling von Aluminium wiedergewonnen. Es handelt sich aber um ein sogenanntes *Downcycling*, da das wiedergewonnene Magnesium aufgrund von Verunreinigungen nicht wieder als Legierungsmetall verwendet werden kann (DECHEMA 2015: 42f.). Es besteht daher hinsichtlich der Ausreifung der Recyclingverfahren noch Weiterentwicklungsbedarf.

Bedeutung für Deutschland und NRW

Das Gewicht der jährlichen Einfuhren von Magnesium nach Deutschland schwankt seit 2008 um die Marke von 200 Tsd. Tonnen herum, 2020 waren es 210 Tsd. Tonnen (Abb. 3.3.61). Auch der Einfuhrwert entwickelte sich im Großen und Ganzen relativ stabil. Die Jahre 2008 und 2009 markierten mit 224 Mill. und 114 Mill. € die Ober- und Untergrenze, 2020 lag der Einfuhrwert bei 140 Mill. €.

Der Anteil NRW an den deutschen Einfuhren von Magnesium war durchgängig hoch: Beim Einfuhrwert schwankte er zwischen 32% und 44% und lag im Jahr 2020 bei knapp 40% (Abb. 3.3.62). Die abnehmende Tendenz, wie sie beispielsweise bei den metallischen Massenrohstoffen festzustellen ist, kommt bei Magnesium also (noch) nicht zum Tragen.

Abb. 3.3.61: Einfuhr von Magnesium nach Deutschland



Eigene Darstellung und Berechnungen nach Angaben der Außenhandelsstatistik des Statistischen Bundesamts (Destatis 2021a).

Abb. 3.3.62: Einfuhr von Magnesium nach NRW



Anteile an den gesamtdeutschen Einfuhren

Eigene Darstellung und Berechnungen nach Angaben der Außenhandelsstatistik des Statistischen Bundesamts (Destatis 2021a).

Gesamteinschätzung

Magnesium ist sicherlich nicht vergleichbar mit den Edelmetallen, dennoch ist es auch ein Rohstoff, der völlig unterschiedliche Nachfragesegmente bedient. Wegen der unterschiedlichen Verwendungsformen des Magnesiums (in metallischer Reinform oder als Verbindung) kommt es mitunter zu schwierigen Preisfindungsprozessen. NRW weist auf dem Magnesiummarkt große Stärken auf und hat seine hohen Marktanteile bislang gut behaupten können.

Einordnung der Befunde der Risikoprofile

Die vorgestellten Risikoprofile beziehen sich auf Rohstoffe, für die anhand verschiedener Kriterien mit heutigem Kenntnisstand betrachtet ein mittleres oder sogar hohes Preis- und Versorgungsrisiko zu erwarten ist. Die Profile dienen dazu, die Bedeutung und Ausprägung der einzelnen Bestimmungsfaktoren für die Risikoeinordnung zu verdeutlichen.

Die Auswertungen der Außenhandelsstatistik zeigen auf, welche Relevanz diesen Rohstoffen mengen- und wertmäßig zukommt, welche Entwicklungstendenzen sie im Zeitverlauf verzeichnen und welchen Anteil NRW daran jeweils hat. Die Außenhandelsstatistik stellt deshalb die adäquate Datenbasis dar, weil Deutschland bei den hier betrachteten Rohstoffen fast vollständig von Importen abhängig ist. Sie hat zudem den Vorteil, dass sie Datenauswertungen für NRW ermöglicht.

Die Ergebnisse der Risikoprofile vermitteln ein differenziertes Bild, das in Bezug auf die Importrohstoffe die verschiedenen Facetten der Rohstoffproblematik aufzeigt. Was die Rohstoffvorräte anbelangt, stellt sich die Lage weniger risikobehaftet dar, als dies vielfach angenommen wird. Die meisten Rohstoffe sind gemessen am derzeitigen, aber auch am zu erwartenden Rohstoffbedarf ausreichend vorhanden.

Eine größere Problematik stellen dagegen mögliche sprunghafte Nachfragesteigerungen dar. Eine steigende Rohstoffnachfrage wird sich schon aufgrund des Bevölkerungs- und Wohlstandswachstums ergeben. Bei einigen Rohstoffen kommt aber hinzu, dass aufgrund der Etablierung von Zukunftstechnologien künftig ein großer zusätzlicher Rohstoffbedarf eintreten wird, worauf sich die Rohstoffmärkte dann erst einstellen müssen. Die Rohstoffförderung kann nämlich nicht von heute auf morgen ohne Weiteres erhöht werden, da die Inbetriebnahme von stillgelegten Bergwerken oder das Aufahren neuer Minen viel Kapital und Zeit in Anspruch nimmt. Umso wichtiger ist es, dass künftige Bedarfe möglichst frühzeitig erkannt werden, damit sich die Märkte proaktiv darauf einstellen können, bevor die Nachfragesteigerungen dann tatsächlich auch eintreten.

Das bedeutet aber auch, dass Rohstoffpreise bereits steigen können, bevor die Nachfragesteigerungen überhaupt eingetreten sind. Dieser Mechanismus sorgt dafür, dass Bergbauprojekte überhaupt erst durchgeführt werden können, da sich Minenunternehmen dann über die Börse oder Venture-Capital-Finanzierungen das Kapital beschaffen können, um die Exploration und Erschließung der Rohstoffvorkommen sowie schließlich den Bau und die Betreuung der Minen zu finanzieren. Nur wenn dieser Vorlauf gegeben ist, der mitunter zehn Jahre oder mehr in Anspruch nehmen kann, ist gewährleistet, dass die später steigende Nachfrage auch möglichst frictionsfrei bedient werden kann.

Die zu erwartenden sprunghaften Nachfragesteigerungen bei verschiedenen Rohstoffen hängen aber nur mittelbar mit der Etablierung einzelner Zukunftstechnologien zusammen. Zwar

generieren diese Technologien dann letztendlich die steigenden Rohstoffbedarfe, deren Etablierung ist aber das Ergebnis technologischer Megatrends, die hinter den Zukunftstechnologien stehen, ohne die sie vermutlich gar nicht oder zumindest nicht in der Form entwickelt worden wären. Hier sind beispielsweise die weltweiten Trends zur Elektrifizierung der Antriebe, zur Dekarbonisierung der Wirtschaft verbundenen mit einer Umstellung der Energieversorgungssysteme auf nichtfossile Energieträger, zur zunehmenden Automatisierung und Miniaturisierung der industriellen Produktionsprozesse oder zur Digitalisierung aller Bereiche der Wirtschaft und Gesellschaft zu nennen. Um diese Megatrends umsetzen zu können, sind eine Reihe spezifischer Technologien erforderlich, die dann auch zu einem veränderten Rohstoffbedarf führen.

Auf derartige Nachfrageentwicklungen kann angebotsseitig nur bedingt flexibel reagiert werden. Das hängt nicht nur mit den bereits erwähnten zeitlichen Disparitäten hinsichtlich der Reaktion der Förderung zusammen, sondern auch mit der weltweiten Verteilung der Rohstoffvorkommen. Anreicherungen von Rohstoffen, die einen wirtschaftlich sinnvollen Abbau ermöglichen, sind die Folge geologischer Prozesse über häufig viele Millionen Jahre. Solche Lagerstätten sind daher selten und konzentrieren sich oftmals auf nur wenige Regionen, in denen besondere geologische Prozesse zusammentrafen, die zu dieser Anreicherung führten. Aus der daraus resultierenden hohen Konzentration der auf wirtschaftlich gewinnbaren Vorkommen auf wenige Förderländer können für die Rohstoffmärkte Probleme resultieren. Dies ist besonders relevant, wenn diese Länder politisch instabil sind.

Es wird daher verstärkt nach Möglichkeiten gesucht, die Abhängigkeit von Importen risikobehafteter Rohstoffe zu reduzieren (siehe dazu auch den Abs. 5.3). Neben einer Diversifizierung der Lieferquellen kommt dafür auch eine Substitution der Primärrohstoffe infrage. Dazu gibt es im Grunde drei Möglichkeiten: (1) Es wird nach Produkten bzw. Produktionsmethoden gesucht, die einen anderen Rohstoffbedarf erfordern, sodass besonders risikobehaftete Rohstoffe in geringerem Umfang gebraucht werden. (2) Es kann auch versucht werden, bei bestimmten Produkten einen Rohstoff durch einen anderen zu substituieren. Allerdings sind die Anforderungen an die Eigenschaften der Rohstoffe oft so spezifisch, dass diese kaum oder gar nicht substituiert werden können. Sollte es doch möglich sein, sind häufig auch die zur Substitution dienenden Rohstoffe risikobehaftet. (3) Schließlich lassen sich Primärrohstoffe auch durch Sekundärrohstoffe substituieren.

Vor dem Hintergrund des letztgenannten Punktes hat sich noch ein weiterer weltweiter Megatrend entwickelt, nämlich die zunehmende Etablierung von Kreislaufwirtschaften. Dies ist zum einen als eine Reaktion auf die zunehmende Abhängigkeit von Primärrohstoffimporten aus kritischen Herkunftsländern anzusehen, zum anderen wird dieser Trend aber auch von dem Bestreben genährt, nachhaltiger zu wirtschaften und Stoffkreisläufe zu schließen. Das damit verfolgte Ziel ist, die in Produkten enthaltenen Rohstoffe nach dem Ende von deren Lebenszeit wieder in den Stoffkreislauf zurückzuführen.

Dazu bedarf es erheblicher Anstrengungen, was die Sammlung des Sekundärmaterials, die Entwicklung effektiver Recyclingtechnologien und die Bereitstellung ausreichender Recyclingkapazitäten anbelangt. Erschwert wird dies zurzeit aber noch durch die Produktentwicklung. Die zunehmende Komplexität von Produkten und die immer geringer werdenden Konzentrationen verschiedener Rohstoffe darin erschweren die Etablierung von Recyclingprozessen.

Daher ist es erforderlich, die Recyclingfähigkeit der Produkte im Sinne eines *zirkulären Designs* zu verbessern. Um dies zu erreichen und die gesamte Recyclingkette so aufzustellen, dass ein technologisch anspruchsvolles und wirtschaftlich effektives Recycling möglich wird und genügend Sekundärrohstoffe verfügbar gemacht werden, die dann Primärrohstoffe ersetzen können, ist zum einen die Innovationsfähigkeit der Unternehmen gefragt, zum anderen die Politik (siehe dazu auch den Abs. 5).

Einstweilen wird die Wirtschaft aber noch darauf angewiesen sein, dass Primärrohstoffe eingeführt werden. Zunächst einmal müssen die Produkte, die später recycelt werden sollen, erstellt werden. Dafür werden auch in Zukunft bis zu einem gewissen Grad Primärrohstoffe gebraucht. Es bedarf dann aber auch entsprechender Auf- und Weiterverarbeitungskapazitäten, um die geförderten Rohstoffe zu raffinieren und in den weiteren Herstellungsprozess von Produkten einzubringen.

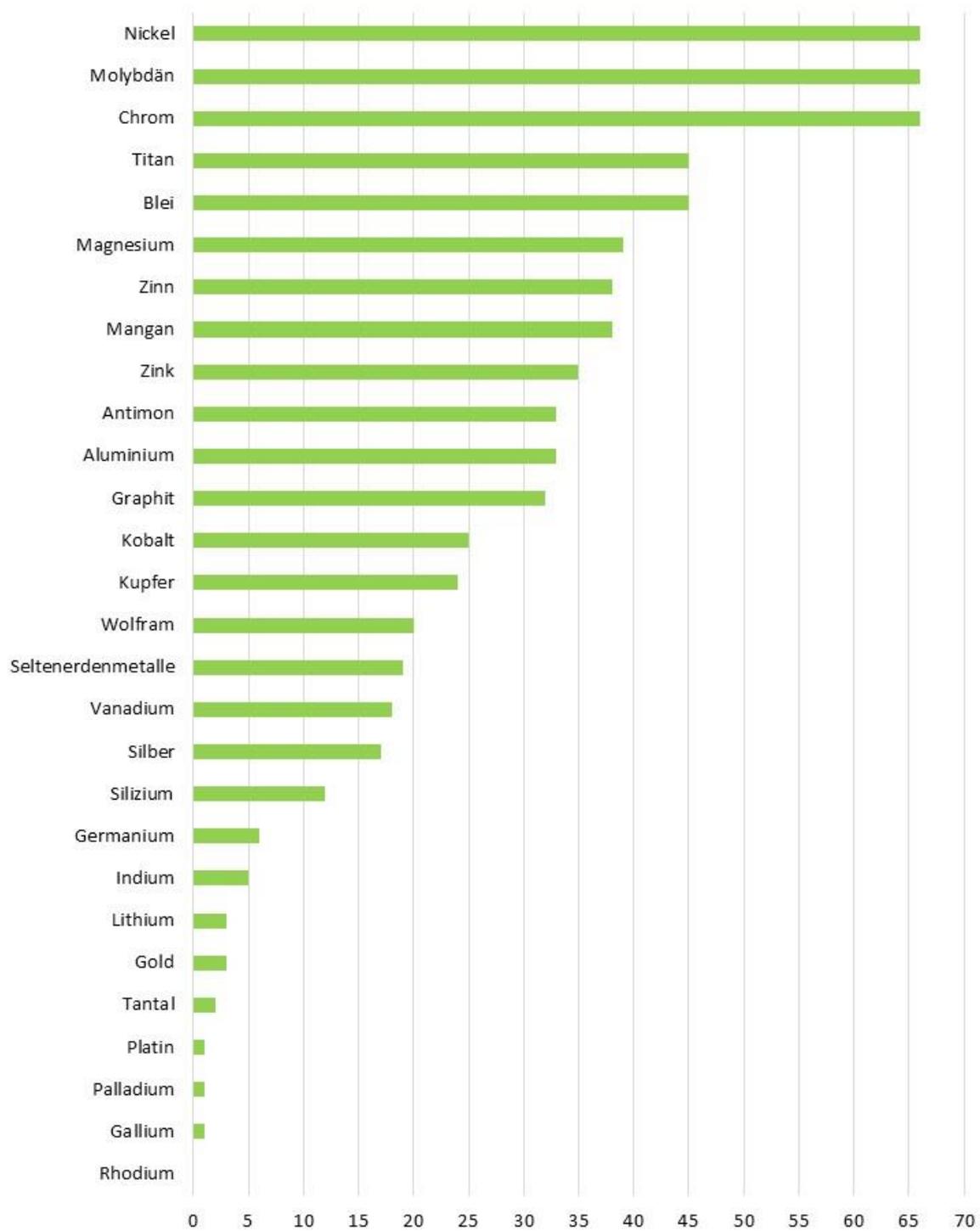
In der Hinsicht haben die Auswertungen der Außenhandelsstatistik sehr nachdrücklich die großen Stärken von NRW in Hinblick auf die Verhüttung bzw. Raffinierung verschiedener Rohstoffe aufgezeigt, die in zum Teil sehr hohen Anteilen an den deutschen Einfuhren zum Ausdruck kommen. Zugleich wurden aber auch Schwächen bei einigen der Rohstoffe aufgezeigt, die besonders für die Etablierung von Zukunftstechnologien relevant sind (Tab. 3.3.2 und Abb. 3.3.63).

Tab. 3.3.2: Einfuhrwerte und -mengen der risikobehafteten Rohstoffe für Deutschland und NRW im Jahr 2019

Rohstoff	Einfuhrwert Deutschland in Mill. €	Einfuhrmenge Deutschland in Tsd. Tonnen	Einfuhrwert NRW Anteil in %	Einfuhrmenge NRW Anteil in %
Aluminium	12.015	9.117	33	30
Antimon	31	5	33	34
Blei	862	561	45	43
Chrom	164	203	66	84
Gallium	5	0,03	1	1
Germanium	2	0,004	6	2
Gold	4.767	5	3	17
Graphit	127	87	32	35
Indium	3	0,02	5	6
Kobalt	145	5	25	20
Kupfer	9.557	2.599	24	19
Lithium	60	6	3	2
Magnesium	188	172	39	22
Mangan	128	83	38	41
Molybdän	215	12	66	69
Nickel	1.377	115	66	59
Palladium	2.707	0,07	1	1
Platin	2.505	9	1	0
Rhodium	805	0,007	0	1
Seltenerdenmetalle	30	6	19	5
Silber	768	31	17	74
Silizium	1.035	364	12	26
Tantal	29	0,2	2	1
Titan	1.479	1.020	45	53
Vanadium	0,5	0,004	18	48
Wolfram	250	10	20	25
Zink	1.499	861	35	26
Zinn	364	21	38	39

Eigene Darstellung und Berechnungen nach Angaben der Außenhandelsstatistik des Statistischen Bundesamts (Destatis 2021a).

Abb. 3.3.63: Anteile von NRW an den Werten der Einfuhren risikobehafteter Rohstoffe nach Deutschland im Jahr 2019



Eigene Darstellung und Berechnungen nach Angaben der Außenhandelsstatistik des Statistischen Bundesamts (Destatis 2021a).

3.4 Rohstoffbedarf der NRW-Schlüsselindustrien

Auswahl von sechs Schlüsselindustrien

Importierte Primärrohstoffe werden vornehmlich von der Industrie nachgefragt. Da sich die Industriezweige zum Teil sehr stark voneinander unterscheiden, wurden einige Schlüsselindustrien ausgewählt, die in Hinblick auf den Bedarf importierter – vor allem metallischer – Rohstoffe von besonderer Bedeutung sind, um deren Struktur und Spezifika etwas genauer zu beleuchten. Mineralische Importrohstoffe, die für die Herstellung bestimmter Produkte benötigt werden, müssen aber nicht zwingend auch von dem jeweiligen Industriezweig, der diese Produkte herstellt, bezogen werden.

Häufig werden die zugrundeliegenden Rohstoffe von anderen Wirtschaftszweigen importiert und zu Zwischenprodukten weiterverarbeitet, die anschließend in die entsprechenden Industrien eingehen und dort zur Herstellung bestimmter Fertigprodukte verwendet werden. So werden beispielsweise die Rohstoffe, die in einem von der Automobilindustrie hergestellten Auto enthalten sind, teilweise von der Metallindustrie, der Elektronik- und Elektroindustrie oder der Chemischen bzw. Kunststoffindustrie in Form von Zwischenprodukten zugeliefert, in denen jeweils ein Teil dieser Rohstoffe bereits enthalten ist, die dann wiederum von der Automobilindustrie als Teile eines Pkw verbaut werden.

In Automobilen verbaute metallische Rohstoffe werden häufig von der Metallindustrie importiert und verarbeitet, um dann mitunter von anderen Sektoren weiterverarbeitet und letztendlich der Automobilindustrie als Vorleistung geliefert zu werden. Auch wenn die Metalle ursprünglich von der Metallindustrie importiert und verarbeitet werden, wird die Nachfrage danach von der Automobilindustrie hervorgerufen. Dies ist ein Beispiel dafür, wie sich die Wertschöpfungskette vom Rohstoffimport bis zum Fertigprodukt, das letztendlich für die Rohstoffnachfrage ausschlaggebend ist, darstellen kann.

Die für die Generierung der Rohstoffnachfrage relevanten NRW-Schlüsselindustrien sind Wirtschaftszweige, die aufgrund ihrer Bedeutung für die Wertschöpfungsketten und das Innovationsgeschehen eine zentrale Rolle in Hinblick auf den Materialeinsatz und die Industrieproduktion spielen. Ihnen können zudem verschiedene zukunftsweisende Technologiefelder zugeordnet werden. Vor diesem Hintergrund wurden für NRW die folgenden Schlüsselindustrien ausgewählt:

- **Automobilindustrie:** Der bedeutendste Industriezweig in Deutschland stellt Personen- und Nutzkraftwagen einschließlich Motoren, Karosserien und sonstigem Zubehör für Kraftwagen her. Die Automobilindustrie ist dabei in Bezug auf den künftigen Rohstoffbedarf besonders im Fokus, da die Branche im Lichte sich verändernder internationaler Wettbewerbsverhältnisse und der künftig erfolgenden Elektrifizierung der Antriebe vor einer sehr tiefgreifenden Transformation steht.
- **Chemische Industrie:** Für NRW ist die Chemische Industrie gemessen am Umsatz- und Wertschöpfungsanteil der zweitgrößte Industriesektor, wobei insbesondere die Grundstoffchemie sehr bedeutend ist. Die Chemische Industrie steht ebenfalls vor einer fundamentalen Transformation. Die kohlenstoffbasierte Chemie, die mit Naphtha ein Nebenprodukt der Mineralölerzeugung einsetzt und somit an sich der Schließung von Stoffkreisläufen dient, soll dieses im Zuge der Dekarbonisierung der Wirtschaft perspektivisch durch grünen Wasserstoff substituieren. Die organische Grundstoffchemie steht aber auch aufgrund der Auflagen seitens des Umwelt- und Chemikalienrechts und den davon ausgehenden immer restriktiver werdenden Grenzwerten massiv unter Druck. Die Spezialchemie ist zwar wachstumsstärker, hier ist aber auch die Rohstoff- und Wettbewerbsintensität höher. Schließlich muss sich die Chemische Industrie aber auch den neuen Herausforderungen aus dem Gesundheitssystem stellen und pharmazeutische Innovationen generieren, um ihre Wettbewerbsfähigkeit in diesem Bereich zu behaupten. Nach der von uns gewählten Abgrenzung schließt die Chemische Industrie auch die Herstellung pharmazeutischer Erzeugnisse mit ein, die aber in NRW eine vergleichsweise geringe Bedeutung hat.
- **Maschinenbau:** Der Maschinenbau ist eine heterogene Industriebranche. Maschinenbauprodukte aus Deutschland genießen weltweit ein hohes Renommee, was aber bedeutet, dass die Wachstumspotenziale angesichts des bereits hohen Weltmarktanteils inzwischen geringer geworden sind. In Hinblick auf den künftigen Rohstoffbedarf wirken sich die verschiedenen Megatrends wie Digitalisierung, Automatisierung und Dekarbonisierung der Wirtschaft oder auch die Elektrifizierung der Antriebe und die Energiewende gleichermaßen aus.
- **Elektronik- und Elektroindustrie:** Sie stellt zum einen elektronische Bauelemente (z.B. Solarzellen), DV-Geräte, Telekommunikationstechnologien und Messgeräte her. Insofern spielt sie für die Energiewende, vor allem aber bei der Etablierung der Querschnittstechnologie Digitalisierung eine bedeutende Rolle. Zum anderen bezieht sie sich aber auch auf die Herstellung von elektrischen Ausrüstungen und beliefert daher verschiedene andere Industriezweige. Hierzu gehört neben der Herstellung von Transformatoren, Glasfaserkabeln und elektrischen Haushaltsgeräten auch die Herstellung von Elektromotoren, Batterien und Akkumulatoren. Daher ist die Elektronik- und Elektroindustrie auch ein essentieller Bestandteil und Treiber der Elektrifizierung der Antriebe.
- **Metallindustrie:** Die Metallindustrie ist in NRW sehr stark vertreten. Als Lieferant für verschiedene andere Industriezweige kommt ihr in Hinblick auf die Beschaffung und Verarbeitung von Rohstoffen sowie der daraus erfolgenden Erzeugung von Metallen und Zwischenprodukten eine be-

sondere Bedeutung zu. Allerdings sind die Wachstumsaussichten eher begrenzt, denn die Metallindustrie steht vor einer ähnlichen Transformation wie die Chemische Industrie, da künftig bei der Stahlproduktion die als Reduktionsmittel eingesetzte Koks- und Braunkohle möglichst durch grünen Wasserstoff substituiert werden soll.

- **Kunststoffindustrie:** Die Herstellung von Primärkunststoffen ist in erster Linie Aufgabe der Chemischen Industrie. Die Kunststoffindustrie als eigenständiger Industriezweig ist dagegen vornehmlich auf die Herstellung von Kunststoffwaren ausgerichtet (Platten, Folien, Verpackungen, Bedarfsartikel usw.), und zwar zunehmend auch durch den Einsatz von Sekundärkunststoffen. Insofern ist hier die Kreislaufwirtschaft schon in stärkerem Maße umgesetzt, als dies bislang in anderen Wirtschaftszweigen der Fall ist. Die Kunststoffindustrie wird hier aber auch deshalb als eine Schlüsselindustrie ausgewählt, weil in Abschnitt 4 das Kunststoffrecycling als ein Best-Practice-Beispiel im Rahmen einer eigenständigen Fallstudie näher untersucht wird.

Aus Tabelle 3.4.1 und Abbildung 3.4.1 ist die Struktur der Schlüsselindustrien in NRW im Vergleich zum Bundesdurchschnitt zu entnehmen. Zunächst einmal wird deutlich, dass die ausgewählten sechs Schlüsselindustrien rund zwei Drittel der Umsätze und drei Viertel der Wertschöpfung des gesamten Verarbeitenden Gewerbes repräsentieren. Die Bauindustrie –

eigentlich das Baugewerbe – gehört nicht zum Verarbeitenden Gewerbe im engeren Sinne und wird in Abschnitt 3.5 im Zusammenhang mit dem Bedarf heimisch geförderter Rohstoffe betrachtet, ebenso die Glas- und Keramikindustrie. Die Herstellung von Nahrungsmitteln, Textilien, Holzwaren und Möbeln wird hier ebenfalls nicht behandelt, da diese Industriezweige für die Nachfrage nach mineralischen Rohstoffen von geringerer Bedeutung sind. Deutlich wird zudem, dass der Industrieanteil in NRW geringer als im Bundesdurchschnitt ist, was mit der schwachen Präsenz der Automobilindustrie in NRW zusammenhängt, wobei auch die Elektronik- und Elektroindustrie unterrepräsentiert ist. Zudem war der Industrieanteil von NRW im zurückliegenden Jahrzehnt rückläufig, wohingegen er im Bundesdurchschnitt leicht stieg.

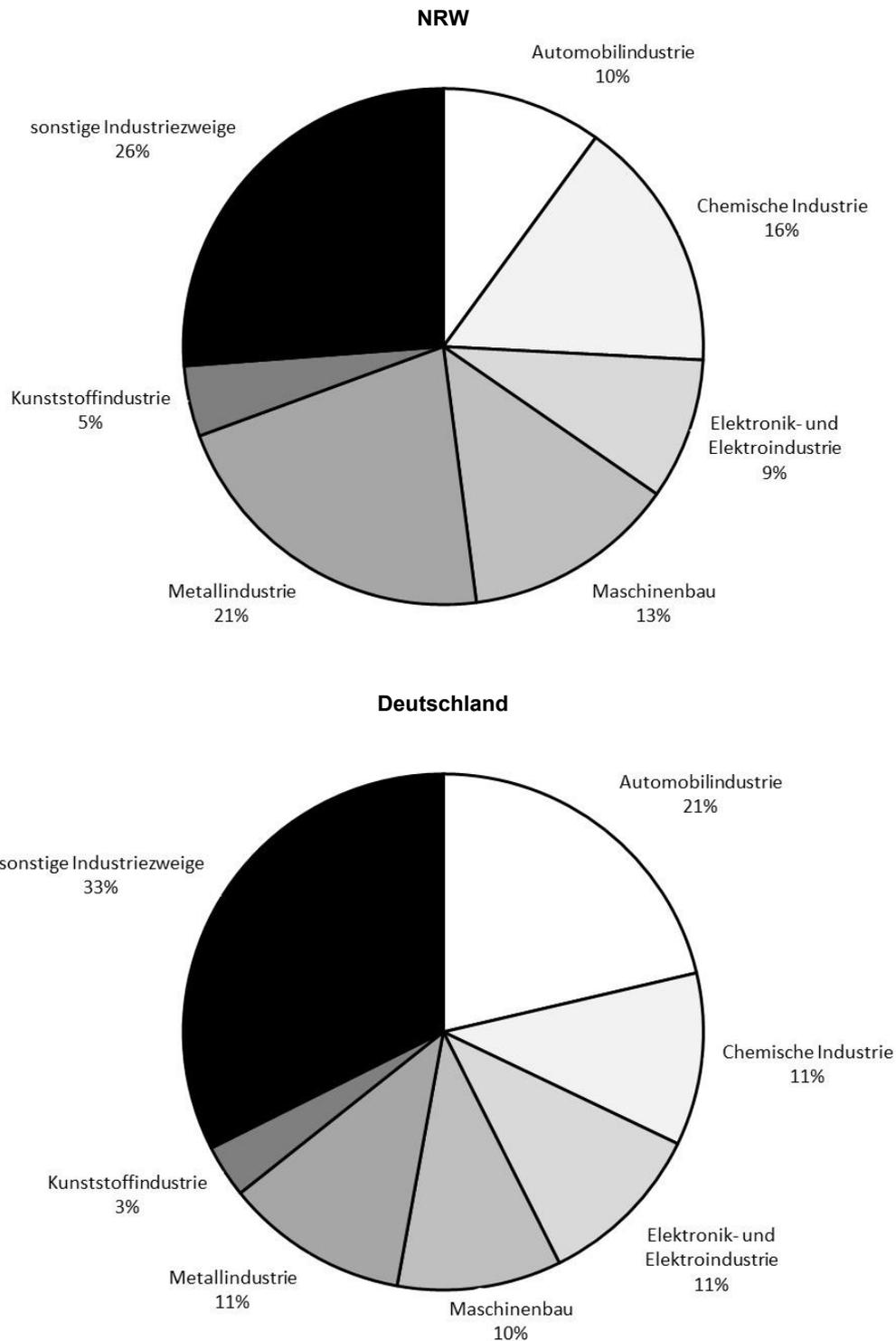
Während der Maschinenbau und die Kunststoffindustrie in NRW in etwa der Bedeutung auf der Bundesebene entsprechen, sind die Chemische Industrie und die Metallindustrie in NRW überrepräsentiert. Bei der Chemischen Industrie käme das sogar noch stärker zum Tragen, wenn die Pharmazeutische Industrie separat betrachtet würde, da deren Anteil am Verarbeitenden Gewerbe in NRW gemessen an der Wertschöpfung nur 2,0%, im Bundesdurchschnitt aber 3,3% beträgt. Rechnet man die Herstellung pharmazeutischer Erzeugnisse heraus, ist der Industrieanteil der Chemischen Industrie in NRW gemessen an der Wertschöpfung (2017: 13,9% versus 7,5%) wie auch am Umsatz (2016: 14,8% versus 6,9%) in etwa doppelt so hoch wie im Bundesdurchschnitt.

Tab. 3.4.1: Struktur der NRW-Schlüsselindustrien im Vergleich zu Deutschland

	NRW		Deutschland		NRW		Deutschland	
	Umsatzanteil laut Umsatzsteuerstatistik in %				Wertschöpfungsanteil laut VGR in %			
	2009	2016	2009	2016	2008	2017	2008	2017
Anteil an der Wirtschaft insgesamt in %								
Automobilindustrie	2,2	2,7	5,1	7,1	1,5	1,6	3,7	5,3
Chemische Industrie	4,6	4,3	3,8	3,6	3,2	3,2	2,5	2,4
Elektronik-/Elektroindustrie	2,5	2,4	3,5	3,5	2,2	2,3	3,0	2,9
Maschinenbau	3,4	3,6	3,3	3,4	3,8	3,1	3,7	3,5
Metallindustrie	5,9	5,8	3,7	3,8	5,2	4,3	3,2	2,6
Kunststoffindustrie	0,9	1,2	1,0	1,1	.	.	1,0	1,0
Anteil des VG insgesamt	30,0	27,1	32,6	33,3	22,0	20,1	22,3	22,7
Anteil am Verarbeitenden Gewerbe in %								
Automobilindustrie	7,3	10,0	15,6	21,3	6,8	8,0	16,6	23,3
Chemische Industrie	15,3	15,9	11,7	10,8	14,5	15,9	11,2	10,6
Elektronik-/Elektroindustrie	8,3	8,9	10,7	10,5	10,0	11,4	13,5	12,8
Maschinenbau	11,3	13,3	10,1	10,2	17,3	15,4	16,6	15,4
Metallindustrie	19,7	21,4	11,3	11,4	23,6	21,4	14,3	11,5
Kunststoffindustrie	3,0	4,4	3,1	3,3			4,5	4,4
Anteil am VG insgesamt	65,0	73,8	62,6	67,6	72,3	72,1	76,7	78,0

Eigene Darstellung und Berechnungen nach Angaben von Destatis (2020b und 2020c) und VGRdL (2020).

Abb. 3.4.1: Umsatzanteile der Schlüsselindustrien am Verarbeitenden Gewerbe im Jahr 2016



Eigene Darstellung und Berechnungen nach Angaben von Destatis (2020c).

Im Folgenden werden die Entwicklungen der ausgewählten sechs NRW-Schlüsselindustrien in den zurückliegenden zehn Jahren und die Entwicklungsszenarien für die kommenden eineinhalb Jahrzehnte skizziert. Die Basis dafür stellen fundierte Bestandsaufnahmen der relativen Wettbewerbsposition dieser Schlüsselindustrien dar, die auch die Auswirkungen der künftigen globalen Trends beleuchten. Einige dieser Trends, beispielsweise im Zusammenhang mit der Digitalisierung oder

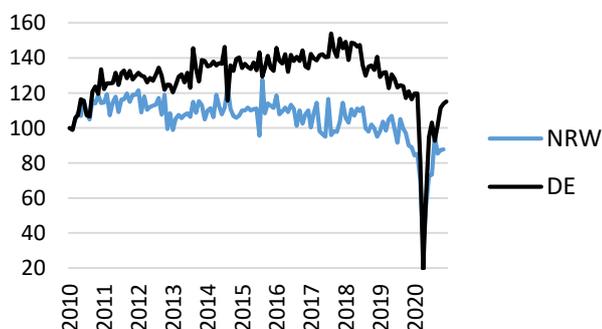
einer nachhaltigeren Produktionsweise, schlagen sich auf alle Branchen nieder. Andere wiederum, wie beispielsweise das Konzept der Kreislaufwirtschaft, sind (noch) branchenspezifische Phänomene (wie z.B. in der Kunststoffindustrie). Durch die Kombination der aktuellen wirtschaftlichen und strukturellen Lage mit den künftig zu erwartenden technologischen Trends werden schließlich Zukunftsperspektiven für die einzelnen NRW-Schlüsselindustrien abgeleitet.

Automobilindustrie

Die Klasse 29 der WZ 2008 des statistischen Bundesamts umfasst die „Herstellung von Kraftwagen und Kraftwagenteilen“, die der Personen- oder Güterbeförderung dienen. Im Bundesdurchschnitt entfallen dabei gut die Hälfte der sozialversicherungspflichtig Beschäftigten (SV-Beschäftigten) und 70% des Umsatzes der Automobilindustrie auf die „Herstellung von Kraftwagen und Kraftwagenmotoren“ (WZ08-291), 5% bzw. 2% auf die „Herstellung von Karosserien, Aufbauten und Anhängern“ (WZ08-292) und 45% bzw. 28% auf die „Herstellung von Teilen und Zubehör für Kraftwagen“ (WZ08-293). In NRW haben die Automobilhersteller (WZ08-291) dagegen mit 27% des Umsatzes und rund zwei Fünfteln der SV-Beschäftigten eine weitaus geringere Bedeutung. Die Abgrenzung von Kraftwagenherstellern und Zulieferern ist insofern relevant, da beide Bereiche gänzlich andere Marktstrukturen aufweisen. Während in der Automobilherstellung zumeist große Konzerne mit globalen Absatzmöglichkeiten und Lieferketten den Markt beherrschen, ist die Zulieferindustrie wesentlich kleinteiliger und lokaler orientiert (Puls und Fritsch 2020). Auch die Zulieferer profitierten vom Boom der deutschen Automobilindustrie in den letzten Jahrzehnten, allerdings unterproportional, da die Automobilhersteller meist großen Kostendruck auf ihre Lieferanten ausübten.

Den Zulieferbetrieben ist es zuletzt zwar gelungen, die Produktivitätslücke zu den Herstellern zu verringern (Rothgang et al. 2018), dennoch besteht weiterhin ein großes Gefälle hinsichtlich Marktmacht und Bruttowertschöpfung zwischen Zulieferern und Herstellern. Für NRW ist dies deshalb besonders relevant, da sich die Automobilherstellung nach der Schließung des Opelwerks in Bochum mit Ford in Köln, dem Sprinter-Werk von Daimler in Düsseldorf und den Elektroautohersteller Next.E.Go Mobile SE in Aachen auf nur noch drei Produktionsstätten bezieht, sodass den Zulieferern, die das Gros der NRW-Automobilindustrie ausmachen, zum Teil der unmittelbare Bezug zur Automobilproduktion vor Ort fehlt. Dies schlägt sich auch in der Entwicklung der Automobilindustrie nieder (Abb. 3.4.2): Von 2010 bis 2018 ist die deutsche Automobilindustrie deutlich gewachsen, wohingegen sie in NRW tendenziell stagnierte.

Abb. 3.4.2: Entwicklung der Automobilindustrie



2010 = 100, kalender- und saisonbereinigte Werte

Eigene Darstellung und Berechnungen nach Angaben der Deutschen Bundesbank.

Seit 2018 ging allerdings auch in Deutschland insgesamt die Produktion zurück und der Strukturwandel der Branche fing verstärkt an, sich bemerkbar zu machen. Seitdem mehren sich die Anzeichen, dass es für die deutsche Automobilbranche in Zukunft deutlich schwieriger werden dürfte. Sprunghaft gestiegene Nachhaltigkeitsstandards für die Zulassung neuer Autos überall auf der Welt lassen keinen Zweifel daran aufkommen, dass sich Automobile nach den Bauplänen von heute schon in einigen Jahren nicht mehr werden verkaufen lassen (Bormann et al. 2018). Gleichzeitig haben es Mitbewerber aus den beiden größten Wirtschaftsräumen, USA und China, verstanden, frühzeitig und intensiver in die neuen Mobilitätsformen zu investieren. Die Pfadabhängigkeiten, in denen sich etablierte Unternehmen befinden, erklären zum Teil, warum Deutschland diesen Wandel nicht proaktiver gestaltete, auch wenn inzwischen nachjustiert worden ist.

Dabei war die Branche auch hierzulande sehr innovativ. So kamen aus der deutschen Automobilindustrie 2017 knapp die Hälfte aller deutschen Patentanmeldungen, allerdings wurde erst in jüngster Vergangenheit damit angefangen, nicht bloß neue Modellvarianten, sondern auch gänzlich neue Antriebsmodelle zu entwickeln (Puls and Fritsch 2020; Rothgang et al. 2018). Nun muss sich die Branche in relativ kurzer Zeit und möglichst schnell „revolutionieren“. Digitalisierung, Automatisierung, Elektrifizierung und die Anforderungen an die Mobilität als Dienstleistung erfordern völlig neue Konzepte und Produkte, verbunden mit relativ unsicheren Aussichten für die deutsche Automobilindustrie inklusive ihrer Zulieferer.

Längst zeichnet sich der Elektromotor als erfolgversprechendste künftige Antriebstechnologie ab. 2040 könnten weltweit bereits zwei Drittel der Fahrzeuge batterieelektrisch betrieben werden (IW et al. 2021: 10). Aufgrund der sich gänzlich unterscheidenden Wertschöpfungskette bei Elektrofahrzeugen würde die deutsche Automobilindustrie weiter an Wettbewerbsfähigkeit verlieren, sollte es nicht gelingen, eine eigene Batterieproduktion aufzubauen (Rothgang et al. 2018). Allerdings sind Varta, VW, Opel, Tesla und einige asiatische Hersteller in Bezug auf die Batterieherstellung in Deutschland jetzt schon aktiv oder werden es bald sein.

Aber nicht nur das Automobil an sich, sondern auch die in Deutschland produzierten Stückzahlen dürften sich künftig verändern. Trotz der im internationalen Vergleich hohen Kosten für Personal und Energie wurden in Deutschland in der Vergangenheit viele Kraftfahrzeuge für den Weltmarkt produziert, insbesondere in dem von den deutschen Autobauern vorzugsweise bedienten Premiumsegment. Inwieweit die hohen Marktanteile angesichts der verschärften Konkurrenzsituation gehalten werden können, ist aber fraglich. Neben den sich wandelnden qualitativen Anforderungen an das Automobil der Zukunft, bestehen zusehends geringere Wachstumsmöglichkeiten auf den tradierten Märkten. Hierzulande dürfte die Nachfrage vor allem in den urbanen Räumen weiter sinken. Wenn die deutschen Automobilunternehmen von einer global steigenden Nachfrage nach Lösungen für den Individualverkehr profitieren wollen, werden sie sich wohl noch stärker global ausrichten müssen (Butz et al. 2014).

Es wird in deutschen Werken schon heute vorwiegend für den heimischen und europäischen Markt produziert. Lediglich bei Premiummodellen lohnt sich die interkontinentale Verschiffung noch. Aber auch hier kündigt sich eine Veränderung an, da sowohl Premium- als auch E-Autos mittlerweile auch in ähnlich guter Qualität in China und damit im weltweit größten Einzelmarkt produziert werden können. So kündigte z.B. BMW an, erstmalig ein E-Auto in China fertigen und dann u.a. nach Europa exportieren zu wollen (Puls und Fritsch 2020). Die Erfolgsaussichten der deutschen Automobilhersteller sind somit eng mit dem internationalen Handel verknüpft. Problematisch könnten daher die in den letzten Jahren zu beobachtenden protektionistischen Tendenzen werden, da sie die globale Expansion der deutschen Autobauer beeinträchtigen könnten.

Die NRW-Zulieferer sind ihrerseits von den deutschen Automobilherstellern abhängig. Selbst wenn es den deutschen Automobilherstellern gelingen sollte, sich am Weltmarkt zu behaupten, ist nicht zu erwarten, dass die Produktion dann immer noch in der gleichen Größenordnung in Deutschland erfolgen wird. Es gibt aber auch Grund zum Optimismus für die NRW-Automobilindustrie. So ist sie z.B. in Bezug auf Elektromobilität und Wasserstoffantriebe gut aufgestellt ist (IW et al. 2021: 17). Eine Analyse der Zulieferindustrie im bergischen Städtedreieck Wuppertal, und Solingen ergab, dass die dort ansässigen Unternehmen gute Chancen haben, die Transformation erfolgreich mitzugestalten, wenn die Politik den Wandel proaktiv begleitet (Kummert und Vogelskamp 2017). Die dort ansässigen Unternehmen agieren überwiegend in Marktsegmenten, die für die Elektroautos relevant sind. Trotz der zeitweisen wirtschaftlichen Probleme ist auch das Aachener Unternehmen Next.E.Go Mobile SE ein Beispiel dafür, dass die Herstellung modernster Automobile in NRW möglich ist.

Alles in allem ist unserer Einschätzung nach aber davon auszugehen, dass die Automobilindustrie in NRW in den kommenden 15 Jahren bestenfalls stagnieren, möglicherweise sogar zurückgehen wird (zu diesem Schluss kommt unter Zugrundelegung der wahrscheinlichsten Szenarien auch IW et al. 2021). Der Markt in Europa ist weitgehend gesättigt. Zudem ist fraglich, inwieweit für die hiesigen Märkte auch weiterhin vor Ort produziert wird. Die befürchtete große Abwanderung von Produktionskapazitäten ist zwar (noch) nicht eingetreten, es findet aber auch keine Wiederlokalisierung in dem erhofften Maße statt. Die Produktion für die Massenmärkte erfolgt ohnehin schon weitgehend im Ausland, zudem ist nicht ausgeschlossen, dass dies zunehmend auch den Premiummarkt betreffen wird. Die zwangsläufige Folge wäre, dass sich auch die Zulieferer stärker international aufstellen müssen, sodass sie ihre Produktionsstätten vermehrt ins Ausland verlagern dürften.

Auch dieser Trend zeichnet sich im Übrigen bereits seit längerer Zeit ab. Die Beschaffungsstrukturen der Automobilindustrie werden sich daher insbesondere in Bezug auf die Zuliefererindustrie weiter diversifizieren, was auch in Hinblick auf die Rohstoffbeschaffung relevant sein wird. In Deutschland stellen dabei die hohen Energiekosten ein Problem dar, was die Abwanderungstendenz verstärken dürfte. Dem wirken allerdings die Digitalisierung und die Automatisierung der Produktion

entgegen, sodass die Vernetzung zunehmen dürfte, zumal Softwarelösungen im Zusammenhang mit der Elektrifizierung der Antriebe eine weitaus größere Rolle spielen werden. Insofern wird sich erst noch zeigen müssen, welche Trends sich in der Automobilindustrie perspektivisch verfestigen werden, da sich auch schon in der Vergangenheit vieles letztendlich doch anders entwickelte als zunächst vermutet.

Einschränkend gilt es aber zu bedenken, dass die Herstellung der Motoren bisher zwar eine der Stärken von Deutschland war, dass Elektromotoren aber weniger komplex sind. Es ist daher nicht ausgeschlossen, dass sich die weltweite Konkurrenzsituation auch diesen entscheidenden Bereich betreffend verschärfen könnte. Schon die Erwartung einer Stagnation der Automobilindustrie würde allerdings eine erfolgreiche Transformation der Branche und den Aufbau neuer Antriebe sowie die Entwicklung von Batterietechnologien und nach Möglichkeit auch den Bau der Batterien voraussetzen.

Es ist davon auszugehen, dass Batterietechnologien künftig verstärkt in Europa entwickelt und auch die Batterien hier gebaut werden. Hinsichtlich der Entwicklung von Technologien zum Batterierecycling ist NRW mit Unternehmen wie accurec in Krefeld, Aurubis in Lünen und Privodius in Siegen bereits gut aufgestellt. Hinzu kommt die Batterieforschungsfabrik, die in Münster gebaut wird und neue Batterietechnologien entwickeln soll. Insgesamt sind diese Entwicklungen deutliche Hinweise darauf, dass das Land NRW in diesem Bereich recht gute Zukunftsperspektiven hat.

Da diese Aktivitäten im Zusammenhang mit dem Recycling von Lithium-Ionen-Batterien stehen, dürfte das in spätestens 10-15 Jahren ein ganz zentrales Geschäftsfeld werden, wofür schon heute die Weichen gestellt werden müssen. In den kommenden zehn Jahren bedarf es zunächst allerdings eines langen Atems, da noch nicht so viel Sekundärmaterial zur Verfügung steht, denn die Lithium-Ionen-Batterien müssen zum großen Teil erst noch verbaut werden. Wichtig wäre auch, dass die Batterien dann gut recycelbar sind und der Export der Altfahrzeuge durch geeignete Maßnahmen so weit wie möglich vermieden werden kann (siehe dazu auch den Abs. 5.5), um die Batterien auch wirklich recyceln und die darin enthaltenen Rohstoffe wiedergewinnen zu können.

In Bezug auf den Einsatz von Rohstoffen spielen in der Automobilindustrie zugleich Versorgungssicherheit und Nachhaltigkeit eine Rolle. Aufgrund der vermehrten Elektrifizierung der Antriebe rücken aber zunehmend weitere Metalle in den Fokus. Da die Motoren der Elektroautos Permanentmagnete enthalten, werden künftig vermehrt auch die risikobehafteten Seltenerdenmetalle benötigt, aber auch die zentralen Batterierohstoffe sind risikobehaftet, insbesondere Lithium, Nickel und Kobalt (siehe dazu auch den Abs. 3.3). Vor allem die Lithiumnachfrage wird proportional zur stark ansteigenden Nachfrage nach Lithium-Ionen-Batterien steigen. Das gilt aber auch für Nickelsulfate, zumal dieser Markt noch klein ist. Die Kobaltnachfrage dürfte zwar weniger stark steigen, Kobalt wird aufgrund des hohen Förderanteils des Kongo dennoch ein besonders risikobehafteter Rohstoff bleiben.

Chemische Industrie

Zur Chemischen Industrie werden hier die WZ-Klassen 20 „Herstellung von chemischen Erzeugnissen“ und 21 „Herstellung von pharmazeutischen Erzeugnissen“ gezählt. In Deutschland entfallen zwei Drittel der SV-Beschäftigten und des Umsatzes auf chemische und ein Drittel auf pharmazeutische Erzeugnisse, in NRW liegt der Anteil chemischer Erzeugnisse bei neun Zehnteln. Dabei wird zwischen der Herstellung von Grundstoffen, Düngemitteln und Primärkunststoffen (WZ08-201) sowie Zwischen- und Endprodukten durch die Weiterverarbeitung chemischer Grundstoffe unterschieden.

Weniger als zwei Fünftel von Beschäftigung und Umsatz der Chemischen Industrie entfallen in Deutschland auf die WZ-Klasse 201, in NRW sind es dagegen knapp die Hälfte der Beschäftigten und sogar mehr als die Hälfte des Umsatzes. So entfällt beispielsweise die Hälfte der gesamten deutschen Primärkunststoffherzeugung auf NRW. Für die Kunststoffherstellung ist insbesondere die Chlorchemie auf Basis von Steinsalz relevant. In der Chemischen Industrie dominieren dabei Großunternehmen, die in der Lage sind, die hohen Investitionen in Produktionsanlagen sowie in Forschung und Entwicklung aufzubringen (Rothgang 2008).

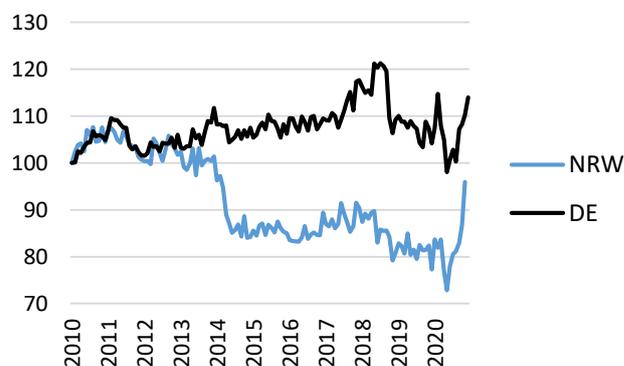
Das Zentrum der Chemischen Industrie hat sich seit dem Beginn dieses Jahrtausends zunehmend von Europa nach Asien verlagert (Cefic 2020). Dieser Trend dürfte sich in mittelbarer Zukunft eher noch verstärken. Dabei resultiert diese Verschiebung nicht aus einer Schrumpfung des europäischen Chemie-sektors, sondern vielmehr aus einer Expansion der Nachfrage nach chemischen Produkten und einer entsprechenden Industrieproduktion in Fernost, auch getrieben durch neu geschaffene, staatlich subventionierte Großunternehmen. Neben der zunehmenden Sättigung der Märkte in Europa dürften in Zukunft die sich verschlechternde demografische Entwicklung und der damit verbundene Fachkräftemangel, die hohen Energiepreise und Lohnkosten, zurückhaltende Investitionen in Innovationen, ausgeprägte Regulierungen sowie niedrige (staatliche) Investitionen und hohe Steuern die Wettbewerbsposition europäischer Chemieunternehmen in Relation zu ihren asiatischen Wettbewerbern weiter schwächen. Dieser Umstand muss allerdings nicht zwingend bedeuten, dass die hiesige Industrie in absoluten Zahlen schrumpft. Laut einer Branchenprognose könnte der Chemiemarkt nämlich weltweit bis 2030 um 3,4% p.a. wachsen (VCI und Prognos 2017).

Ein Niedergang der europäischen Chemieindustrie ist zumindest auf breiter Front nicht zu erwarten (Harnick und Morris 2020). Die hohen Investitionen in Produktionsanlagen tragen zu einer gewissen Langlebigkeit der Wirtschaftsstrukturen bei (Risius und Werner 2018). Daher sind europäische Chemieunternehmen auch noch nicht so stark im Ausland engagiert, wie das in anderen Branchen zu beobachten ist. Zudem haben europäische Chemieunternehmen zusammen mit öffentlichen Forschungseinrichtungen einen Wissensvorsprung in Bezug auf Spezialprodukte. In diesem Bereich ergeben sich daher auch in Zukunft Wachstumspotentiale, die ein Gegengewicht zu den eher zurückgehenden Marktanteilen in chemischen

Massenmärkten darstellen (von Hoyningen-Huene et al. 2012). Allerdings muss diese Verlagerung hin zur Spezialchemie auch politisch unterstützt und durch noch höhere Forschungs- und Entwicklungsausgaben vorangetrieben werden (Der Landtag NRW 2015, VCI und Prognos 2017).

Die Produktion chemischer Güter in NRW hat sich in der zurückliegenden Dekade schwächer entwickelt als im Bundesdurchschnitt (Abb. 3.4.3). Verließ die Entwicklung von 2010 bis 2013 noch weitgehend parallel, kam es im Anschluss daran zu einer zunehmenden Divergenz. Damit lag die deutsche Chemieproduktion 2018 knapp 20% über dem Niveau von 2010, in NRW dagegen um etwa 10% darunter. Ein Grund für diese divergente Entwicklung dürfte sein, dass in NRW ein höherer Anteil auf die organische Grundstoffproduktion entfällt, deren relative Absatzmöglichkeiten sich, wie bereits erläutert, verschlechterten. Von 2018 bis 2020 schrumpfte dann aber tendenziell auch die Chemieproduktion in Deutschland insgesamt, während sie sich in NRW erholte.

Abb. 3.4.3: Entwicklung der Chemischen Industrie



2010 = 100, kalender- und saisonbereinigte Werte

Eigene Darstellung und Berechnungen nach Angaben der Deutschen Bundesbank.

Alles in allem ist künftig mit einer Verlagerung der Chemieproduktion in NRW hin zu spezialisierten Produkten bei stagnierender oder allenfalls leicht wachsender Gesamtproduktion zu rechnen. Branchenprognosen für die Chemische Industrie sehen zwar bis 2030 ein Wachstum im Korridor von 1% bis 2% p.a. in Deutschland, für eine derartige Entwicklung müsste sich die Chemische Industrie in NRW aber weitaus stärker als bislang auf Spezialprodukte hin ausrichten.

Selbst den optimistischsten Szenarien zufolge wird die energieintensive Grundstoffindustrie (Basischemikalien) bestenfalls stagnieren. Mit den in NRW hergestellten chemischen Grundstoffen sind somit nur geringe Wachstumspotenziale verbunden. Zudem sind die Möglichkeiten für eine nachhaltigere Produktion bei der Grundstoffchemie kurzfristig begrenzt (VCI und Prognos 2017). Die Gründe dafür sind technischer und wirtschaftlicher Natur. Zwar gibt es schon gute Ansätze und vielversprechende Pilotprojekte, doch der Aufbau nachhaltigerer Wertschöpfungsketten erfordert Zeit und hohe Investitionen. Die geringen Wachstumschancen und steigenden

Umweltanforderungen schränken daher die Perspektiven für die NRW-Grundstoffindustrie in ihrer heutigen Form ein.

Die anorganische Chemie weist somit vor allem aufgrund der Herstellung von Spezialchemikalien Wachstumsperspektiven auf, wobei hiermit auch ein höherer Bedarf verschiedener risikobehafteter Rohstoffe verbunden ist (DECHEMA 2015). Zudem adressiert die anorganische Chemie in deutlich stärkerem Maße Zukunftstechnologien. So hat z.B. die BASF AG Konzepte zum Batterierecycling in Form von Trennchemikalien entwickelt. Innovationen dieser Art könnten auch der Chemischen Industrie in NRW helfen. Allerdings ist hier einstweilen die organische Grundstoffchemie bedeutender.

In der organischen Chemie werden kohlenstoffbasierte Rohstoffe eingesetzt, sodass bis auf Weiteres keine größeren Versorgungsprobleme zu erwarten sind, denn es wird Naphtha als Abfallprodukt der Mineralölerzeugung verwertet. In Zukunft muss Öl in der organischen Chemie aber – wie auch Koks- kohle in der Stahlindustrie – durch hybride Verfahren (z.B. Wasserstofftechnologien) substituiert werden, was große Umwälzungen und erhebliche Investitionen erfordert. Alternativ könnte auch die Umsetzung vorhandener Verfahren zur Umwandlung von CO₂ in Methan erfolgen.

Perspektivisch soll jedenfalls eine möglichst vollständige Klimaneutralität hergestellt und daher nicht mehr auf fossile Energieträger gesetzt werden. Offen ist, inwieweit dieser *Green Deal* letztendlich zu einem Erhalt der organischen Chemie in NRW beitragen kann. Problematisch sind in diesem Zusammenhang auch die sehr wahrscheinlich weiter steigenden Energiekosten, die besonders für die energieintensiven Industrien in NRW eine große Herausforderung darstellen. Die Grundstoffchemie kann überhaupt nur erhalten werden, wenn sie grüne Energie zu wettbewerbsfähigen Preisen erhält (einschließlich Importen energiereicher Moleküle und Wasserstoff), für die es nicht nur einer entsprechenden Infrastruktur bedarf, sondern auch zielführender politischer Rahmenbedingungen für grün hergestellten Wasserstoff (Reduktion der Abgaben auf Wasserstoff, Förderung der Verbesserung von Wasserstofftechnologien, Zertifikatesysteme usw.).

Die Herausforderung in Hinblick auf den Erhalt der organischen Grundstoffchemie stellt also schon aus den genannten Gründen eine Mammutaufgabe dar. Das vielleicht größte Problem, das hier also noch hinzukommen wird, stellt das Chemikalienrecht dar. Von Seiten der EU werden sehr hohe Anforderungen gestellt, die möglicherweise gut gemeint, aber doch ziemlich technikfern sind. Sollten diese Vorgaben konsequent umgesetzt werden (etwa die Grenzwerte von REACH12 oder von Seiten des Chemikalienrechts), könnte dies zu einem großen Wettbewerbsnachteil für die Chemische Industrie werden, speziell für die Grundstoffchemie in NRW. Experteneinschätzungen zufolge ist aufgrund des Chemikalienrechts (gefährliche Inhaltsstoffe) der Bestand von Teilen der organischen Grundstoffchemie erheblich gefährdet. Der Hauptprofiteur dieser Entwicklung wäre vor allem China. Dadurch würde es im globalen Maßstab betrachtet aber eher zur Verlagerung als zur Lösung der Umweltprobleme kommen.

In den kommenden 15 Jahren wird es jedenfalls signifikante Veränderungen innerhalb der Chemischen Industrie geben. Die Kreislaufwirtschaft wird viel stärker etabliert sein, eine digitale Steuerung zum Standard werden, die Entwicklungszeiten dürften sich verkürzt haben, die Verarbeitung großer Datenmengen wird verstärkt möglich sein und die hohen Investitionen in Wasserstoff-, Brennstoff- und Batterietechnologien sind bis dahin getätigt worden (zum Teil mit staatlicher Förderung). Insofern wird die Chemische Industrie im Jahr 2035 anders strukturiert sein als heute. Die damit verbundenen Herausforderungen bedürfen großer Anstrengungen der Industrie, zugleich aber auch politischer Rahmenbedingungen, die diese Prozesse adäquat unterstützen.

Elektronik- und Elektroindustrie

Die Elektronik- und Elektroindustrie umfasst ein breites Feld von Produkten. Charakteristisch für die Produkte der WZ-Klasse 26 „Herstellung von Datenverarbeitungsgeräten, elektronischen und optischen Erzeugnissen“, worauf in NRW zwei Fünftel der Umsätze der Elektronik- und Elektroindustrie entfallen (im Bundesdurchschnitt sogar knapp zwei Drittel), sind integrierte Schaltungen, wohingegen die WZ-Klasse 27 „Herstellung von elektrischen Ausrüstungen“ Produkte umfasst, die Elektrizität entweder erzeugen, verwenden oder verteilen. Etwa die Hälfte der Umsätze der WZ-Klasse 26 entfällt in NRW auf die Herstellung von elektronischen Bauelementen und Leiterplatten (WZ08-261), worunter auch die Herstellung von Solarzellen und Solarmodulen fällt, ansonsten ragen noch die Herstellung von Datenverarbeitungsgeräten und peripheren Geräten (WZ08-262) und von Mess-, Kontroll-, Navigationsinstrumenten (WZ08-265) heraus, die zusammen etwa ein Drittel der Umsätze der WZ-Klasse 26 auf sich vereinigen.

Die WZ-Klasse 27 ist insbesondere in Hinblick auf die Herstellung von Elektromotoren, Generatoren, Transformatoren, Elektrizitätseinrichtungen (WZ08-271), von Batterien und Akkumulatoren (WZ08-272) sowie von Kabeln (einschließlich Glasfaserkabeln) und elektrischem Installationsmaterial (WZ08-273) aus Rohstoffsicht auch mit Blick auf die Etablierung von Zukunftstechnologien (die dann zum Teil auch in anderen Industrien zum Tragen kommen) von zentraler Bedeutung. Der Anteil von NRW an den bundesweiten Umsätzen mit Batterien und Akkumulatoren liegt bei etwas mehr als einem Zehntel, was zwar ausbaufähig ist, worauf aber auch gut aufgebaut werden kann. Komplettiert wird WZ08-27 durch die Herstellung von elektrischen Lampen und Leuchten (WZ08-274), von Haushaltsgeräten (WZ08-275) und von sonstigen elektrischen Ausrüstungen und Geräten (WZ08-279).

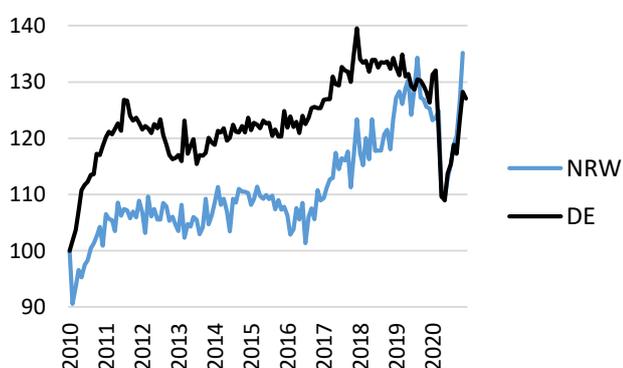
Gerade die Produkte mit integrierten Schaltkreisen hatten die Wirtschaft in den letzten Dekaden revolutioniert. Im Jahr 1965 verfasste Gordon Moore sein berühmtes Gesetz, demzufolge sich die Kapazität integrierter Schaltkreise alle zwei Jahre verdoppeln sollte. Obwohl der Trend langsam abflacht, bewahrheitete sich im Rückblick seine Prognose. Dadurch wurde Elektrotechnik immer günstiger und Branchen, die Produkte der Elektronik- und Elektroindustrie zur Produktion eigener

Waren und Dienstleistungen einsetzen, konnten ihre Produktivität steigern. Die Produkte der Elektroindustrie sind daher Querschnittstechnologien, die in beinahe allen Bereichen der Volkswirtschaft ihre Anwendungen finden. Besonders evident ist diese Entwicklung bei den Telekommunikationsdienstleistungen, die seit Mitte der 2000er Jahre ein hohes Produktivitätswachstum verzeichneten (Rothgang et al. 2018).

Die Lage der deutschen Elektronik- und Elektroindustrie zu Beginn der 2020er-Jahre ist gespalten. Auf der einen Seite dürfte auf den Industriezweig mit seinen derzeit 848 Tsd. Beschäftigten in Deutschland künftig eine Nachfrageexpansion zukommen (ZVEI 2020a). Trends wie das Internet der Dinge, 5G, servicebasierte Geschäftsfelder, künstliche Intelligenz oder die Energiewende lassen sich nur mit Produkten der Elektronik- und Elektroindustrie bewerkstelligen. Außerdem weist die Branche einen hohen Außenhandelsanteil und einen überdurchschnittlichen Anteil an Forschungs- und Entwicklungsausgaben gegenüber anderen Branchen des Verarbeitenden Gewerbes auf, sodass sie für die Zukunft recht gut gerüstet erscheint (ZVEI 2019). Allerdings kommt der heimischen Elektronik- und Elektroindustrie im globalen Maßstab betrachtet nicht ansatzweise die Bedeutung zu wie etwa der Automobilindustrie oder dem Maschinenbau. Deutschlands Anteil an der globalen Produktion lag 2018 bei lediglich 3% und in der EU bei 17% (ZVEI 2020a). Darüber hinaus zeigen sich einige strukturelle Defizite. Die deutsche Elektronik- und Elektroindustrie ist zwar sehr exportorientiert, allerdings gehen diese Exporte zu zwei Dritteln in die EU. Wichtige Schwellenländer werden dagegen kaum bedient, da z.B. China in vielen Bereichen wettbewerbsfähiger ist (Gontermann 2013).

Außerdem ist in einigen Zukunftsfeldern, wie den Batterietechnologien, die deutsche Präsenz (noch) zu gering (sie machte 2019 nur 3% des Gesamtumsatzes aus). Anstelle der Belieferung wichtiger Wachstumsmärkte, wie den Software- und Servicesegmenten, hatte sich die deutsche Produktion in den zurückliegenden Jahren zu sehr auf das Geschäftsfeld mit Hardware konzentriert (Sallaba et al. 2019). Trotz struktureller Schwächen ist die Elektronik- und Elektroindustrie in Deutschland in der letzten Dekade kräftig gewachsen (Abb. 3.4.4).

Abb. 3.4.4: Entwicklung der Elektronik- und Elektroindustrie



2010 = 100, kalender- und saisonbereinigte Werte

Eigene Darstellung und Berechnungen nach Angaben der Deutschen Bundesbank.

In NRW stagnierte sie dagegen von 2010 bis 2016 für mehrere Jahre, was u.a. daran gelegen haben dürfte, dass die großen Konzerne, die weltweit dominieren, in NRW nicht vertreten sind (Rothgang 2008). Seit 2016 entwickelte sich die nordrhein-westfälische Elektronik- und Elektroindustrie allerdings ausgesprochen dynamisch und konnte damit die Lücke zum Bundesdurchschnitt schließen (Opfinger 2016). Dies dürfte auch mit der erfolgreichen Entwicklung von IT-Clustern wie dem in Ostwestfalen-Lippe zu tun haben. Letztlich überwiegen die positiven Aussichten für die Branche in NRW. Neben einem weiteren Anstieg der Nachfrage nach Konsumprodukten dürfte auch die Elektrifizierung der Antriebe und die Energiewende der Branche Auftrieb geben. So beinhalten alle Konzepte zur Dekarbonisierung der Wirtschaft umfangreiche Aufträge für die Elektronik- und Elektroindustrie.

Die Digitalisierung, die Energiewende und die Elektrifizierung der Antriebe sind nur einige Beispiele dafür (ZVEI 2020b). Künftig ist von niedrigen einstelligen Wachstumsraten auszugehen. Es bleibt aber ungewiss, inwieweit die Branche es schafft, in der Breite und vor Ort Zukunftstechnologien zu etablieren, aus der Kleinteiligkeit der aktuellen Branchenstruktur herauszuwachsen und den Fachkräftemangel mit kreativen Lösungen zu bewältigen (Gontermann und Schäfer 2019). Sollte dies, getrieben von technologischen Entwicklungen, gelingen, sind auch höhere Wachstumsraten denkbar.

Maschinenbau

Die Maschinenbaubranche (WZ08-28) ist relativ disparat, wobei die Sektorstruktur in NRW, anders als bei der Elektronik- und Elektroindustrie, jener auf der Bundesebene sehr ähnlich ist. Etwas mehr als die Hälfte der Beschäftigten und Umsätze der Branche betrifft die Herstellung von nicht wirtschaftszweigspezifischen Maschinen (WZ08-281 und WZ08-282), wie z.B. Verbrennungsmotoren, Turbinen, hydraulische bzw. pneumatische Komponenten, Pumpen, Kompressoren, Armaturen, Lager, Getriebe, Zahnräder oder Öfen. Während die Herstellung von land- und forstwirtschaftlichen Maschinen (WZ08-283) im mittleren einstelligen Prozentbereich liegt, betreffen gut zwei Fünftel der Beschäftigten und Umsätze die Herstellung von Werkzeugmaschinen (z.B. für die Metallverarbeitung; WZ08-284) und von Maschinen für sonstige bestimmte Wirtschaftszweige (z.B. für die Metallerzeugung und für Gießereien, für den Bergbau, die Bauindustrie und die Kunststoffverarbeitung; WZ08-289).

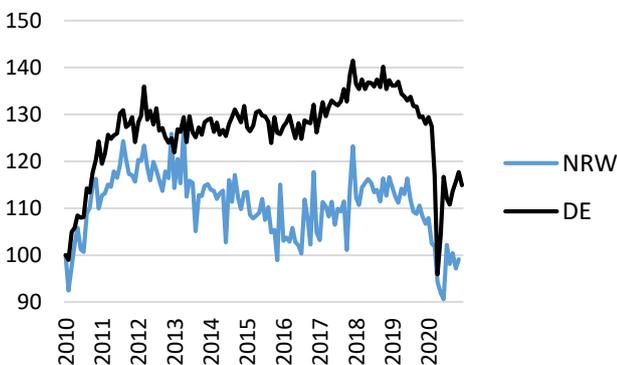
Mit einem Anteil von 11% am globalen Umsatz hat die deutsche Maschinenbaubranche nach den USA und China den dritthöchsten Weltmarktanteil (VDMA 2020). In Deutschland ist es die zweitgrößte Branche des Verarbeitenden Gewerbes, die zudem als sehr innovativ gilt (GTAI 2021). Vor diesem Hintergrund sieht sich die heimische Maschinenbaubranche in einer guten Ausgangsposition in Hinblick auf ihre Wettbewerbsfähigkeit in der Zukunft, die von tiefgreifenden Veränderungen u.a. durch die Digitalisierung, den Klimaschutz, die Ressourcenknappheit, die Mobilitätswende und dem Leichtbau (z.B. Verbundwerkstoffe) geprägt werden dürfte. Hieraus werden sich sowohl Chancen als auch Risiken ergeben.

So wird die Digitalisierung beispielweise von vielen Unternehmen bereits aktiv gestaltet, auch wenn klar sein dürfte, dass das Tempo in diesem Bereich noch deutlich gesteigert werden muss, um den Anschluss nicht zu verlieren (Nad 2020). Bürokratische und technische Restriktionen, aber auch eine zurückhaltende Bereitschaft zum Wandel in den Unternehmen bremst mancherorts noch die notwendige Transformation. Deglobalisierungstendenzen und Verschiebungen der Wachstumsmärkte lassen zudem Zweifel daran aufkommen, inwiefern die deutsche Maschinenbaubranche ihre bislang außerordentliche Stellung halten können.

Hinzu kommt, dass die totale Faktorproduktivität in diesem Industriezweig von 2005 bis 2015 um etwa 1,1% p.a. abgenommen hat (Rothgang et al. 2018). Dies hängt u.a. damit zusammen, dass in Deutschland überwiegend Spezialmaschinen für spezielle Anwendungsbereiche produziert werden, deren Produktion sich schwer skalieren lässt. Dagegen hat sich die Massenproduktion in diesem Zeitraum nach Asien verlagert. Zukunftschancen ergeben sich durch Angebote von Systemlösungen. Künftig können sich Maschinenhersteller stärker in Prozesse ihrer Kunden vor Ort einbringen sowie die Wartung und Überwachung der Anlagen über große Distanzen hinweg vornehmen (Mischler 2019). Eine notwendige Bedingung für das Erschließen dieses Geschäftsfeldes ist die vollständige Digitalisierung der Unternehmensprozesse. Gelingt es, diese Anpassungen schnell und konsequent durchzuführen, ergeben sich große Entwicklungspotentiale.

Die Entwicklung des Maschinenbaus in NRW blieb in der zurückliegenden Dekade auch recht deutlich hinter dem Bundestrend zurück (Abb. 3.4.5). Für den Maschinenbau in NRW sind auch mit Blick auf die kommenden 15 Jahre eher niedrige einstellige jahresdurchschnittliche Wachstumsraten zu erwarten. Der noch durch den Kohlebergbau geprägte Maschinenbau in NRW wird sich dabei umstellen müssen, wovon aber kein größerer Wertschöpfungs- oder Beschäftigungsabbau ausgehen dürfte, da es vermutlich zu einem verstärkten Technologietransfer ins Ausland kommen wird. Der Kohleausstieg wird sich somit nicht wesentlich auswirken, da genug Zeit für strukturelle Anpassungen bleibt (Dehio und Schmidt 2019).

Abb. 3.4.5: Entwicklung des Maschinenbaus



2010 = 100, kalender- und saisonbereinigte Werte

Eigene Darstellung und Berechnungen nach Angaben der Deutschen Bundesbank.

Alles in allem erscheint es eher unwahrscheinlich, dass der Maschinenbau in NRW in erheblichem Maße ausgeweitet wird, denn die Branche ist im Verhältnis zur Volkswirtschaft jetzt schon sehr groß. Zukunftstechnologien werden wohl eher in anderen Branchen entwickelt und umgesetzt werden, auf den Wachstumsmärkten dürften sich deutsche Maschinenbauer künftig zudem einem immer stärkeren Wettbewerb ausgesetzt sehen. Der Maschinenbau in NRW hat zudem ein strukturelles Problem, da er verstärkt auch schwer-industrielle Unternehmen beliefert (Rothgang et al. 2018). Voraussichtlich wird die Ausrichtung der Branche noch exportorientierter werden. Da z.B. in Indien oder China eine Produktion vor Ort erforderlich ist, um die Märkte dort bedienen zu können, wird sich die Produktion des Maschinenbaus voraussichtlich noch stärker dorthin verlagern.

Ein Teil der Produktion, die bisher in NRW erfolgte, wird daher wohl abwandern, auch wenn häufig kleinen oder mittleren Maschinenbauunternehmen hier gewisse Grenzen gesetzt sind. Die Produktivität war im Maschinenbau aufgrund zeitweise hoher Investitionen gesunken, dies dürfte sich dann aber zu einem späteren Zeitpunkt noch auszahlen. Trotz einiger unfairer Praktiken im internationalen Umfeld sind die Perspektiven der Maschinenbaubranche unverändert gut, wenngleich Deutschland wie auch NRW aufgrund der bereits erreichten guten weltweiten Positionierung wohl keine sonderlich dynamische Entwicklung mehr vollziehen wird. Das Thema Rohstoffversorgung wird im Maschinenbau etwas weniger kritisch gesehen, da er weniger davon betroffen ist als andere Branchen (wie z.B. die Automobilindustrie), bei denen sich internationale Krisen in Bezug auf Rohstoffe stärker auf die jeweiligen Lieferketten auswirken dürften.

Metallindustrie

Die Metallindustrie ist in die beiden WZ-Klassen 24 „Metallerzeugung und -bearbeitung“ und 25 „Herstellung von Metallergüssen“ unterteilt. Die Metallerzeugung und -bearbeitung betrifft das Schmelzen und Legieren von Metallen aus Erzen, Rohmetallen oder Schrotten. Produkte sind Platten, Bleche, Stähle, Stangen, Drähte, Rohre, Hohlprofile sowie Guss- und andere Grundmetallerzeugnisse. Rund die Hälfte der Umsätze der NRW-Metallindustrie konzentriert sich auf die WZ-Klasse 24 (allerdings weniger als zwei Fünftel der Beschäftigung), während sie im Bundesdurchschnitt nur gut zwei Fünftel der Umsätze ausmacht (und ca. ein Viertel der Beschäftigung).

Mehr als zwei Fünftel der Umsätze in der Klasse Metallerzeugung und -bearbeitung erfolgt in NRW. Ein Viertel der Umsätze der gesamten NRW-Metallindustrie entfällt auf die Erzeugung von Roheisen, Stahl und Ferrolegierungen (WZ08-241), je ein Zehntel auf die Herstellung von Stahlrohren, Rohrform-, Rohrverschluss- und Rohrverbindungsstücken aus Stahl (WZ08-242) einschließlich der sonstigen ersten Bearbeitung von Eisen und Stahl (WZ08-243) sowie die Erzeugung und erste Bearbeitung von NE-Metallen (WZ08-244), und ein Zwanzigstel auf Gießereien (WZ08-245). Bei den Nichteisenmetallen ragen die Erzeugung und erste Bearbeitung von Alu-

minium heraus (fast zwei Fünftel der bundesdeutschen Umsätze), ähnlich sind die Anteile bei Blei, Zink und Zinn, wenn auch bei viel niedrigeren Volumina). Dagegen weisen die Erzeugung und erste Bearbeitung von Edelmetallen mit einem Umsatzanteil von nur 3% in NRW eine geringe Bedeutung auf. Gießereien vereinigen ein Viertel der bundesweiten Umsätze auf sich, wobei Stahl- (Umsatzanteil über zwei Fünftel) und Leichtmetallgießereien (drei Zehntel) herausragen.

Bei der Herstellung von Metallerzeugnissen (WZ08-25) werden überwiegend die Produkte der Metallerzeugung und -bearbeitung (WZ08-24) weiterverarbeitet, um daraus u.a. Bauelemente, Behälter und Konstruktionen herzustellen. Neben eisenbasierten Stählen werden auch Produkte aus Aluminium, Blei, Kupfer und zahlreiche sonstige Metalle weiterverarbeitet. Mit Umsatzanteilen von jeweils mehr als einem Zehntel an der gesamten NRW-Metallindustrie sind der Stahl- und Leichtmetallbau (WZ08-251) und die Herstellung von Schneidwaren, Werkzeugen, Schlössern und Beschlägen aus unedlen Metallen (WZ08-257) am bedeutendsten. Während die Buntmetallindustrie im Sauerland die Wiege der metallverarbeitenden Industrie in NRW ist, haben viele Metallhändler ihren Sitz vornehmlich im Ruhrgebiet.

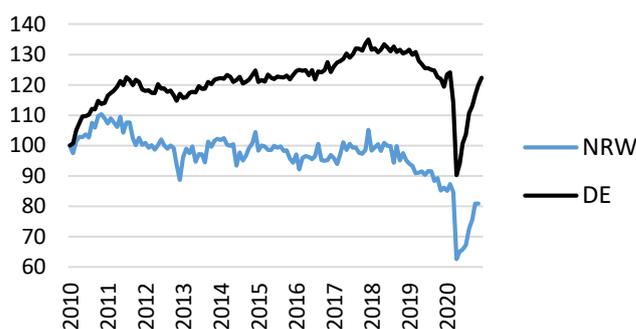
Die durch eine hohe Kapitalintensität geprägte deutsche Metallindustrie bewegt sich seit Jahren in einem schwierigen Marktumfeld, das durch weltweite Überkapazitäten, Handelskonflikte, staatliche Interventionen und die Herausforderungen im Zusammenhang mit der Transformation zu einer CO₂-neutralen Stahlproduktion geprägt ist (Döhrn 2020). Aufgrund ihrer zentralen Rolle für die Grundstoffproduktion wird der Metallindustrie in den meisten Ländern eine hohe politische Priorität beigemessen. Die Subventionen und der Schutz der heimischen Industrie vor ausländischer Konkurrenz sorgen somit international für ein merkantilistisches Marktumfeld und eine globale Überproduktion. Gleichzeitig ist mit der fortschreitenden Entwicklung einer Volkswirtschaft ein Trend zu einem abnehmenden Pro-Kopf-Stahlverbrauch zu verzeichnen. Seit Beginn des Jahrtausends hat sich dementsprechend die globale Stahlproduktion nahezu auf den Kopf gestellt: China löste Europa zunächst als größten Stahlproduzenten ab und hat es mit einem Marktanteil von mehr als 50% inzwischen weit hinter sich gelassen (Bonnet 2020; BMWi 2021a).

Höhere Aufwendungen für Personal, Energie und Klimaschutz führten dazu, dass die europäischen und deutschen Hersteller dem chinesischen Staatskapitalismus nur wenig entgegensetzen konnten. In Zukunft könnte zudem die ausgeprägte Verflechtung der Branche mit der Außenwirtschaft zu einem Problem werden. So ergeben sich in einigen Bereichen zwar neue, aussichtsreiche Geschäftsfelder, etwa beim Aufbau von Windkraftanlagen oder einer Pipeline-Infrastruktur für grünen Wasserstoff, andere Bereiche dürften dagegen ihre Stahlintensität deutlich herunterfahren, wie z.B. die Automobilindustrie. Die alles überschattende Herausforderung wird aber die Transformation zu einer CO₂-neutralen Stahlproduktion werden. Allein in Deutschland dürften hierfür in den kommenden Jahren Investitionen von insgesamt rund 50 Mrd. € erforderlich werden (Küster-Simic et al. 2020).

Betrachtet man die Umsätze und Gewinne der Branche aus den letzten Jahren, werden die Unternehmen diese Herkulesaufgabe nicht alleine bewerkstelligen können. Auch wenn die Politik das Thema intensiv diskutiert und die EU schon bald Mechanismen einführen dürfte, um die Branche bei der Transformation zu unterstützen, scheint eine Ausweitung der Produktionsmengen eher unwahrscheinlich. Selbst Branchenvertreterinnen und -vertreter, die für gewöhnlich mit großer Zuversicht auf den eigenen Industriezweig schauen, halten bis 2035 allenfalls eine Stagnation der heimischen Stahlproduktion für realistisch (Böhmer und Limbers 2020).

In NRW war die Produktion in der letzten Dekade tendenziell rückläufig, wohingegen sie im Rest von Deutschland ausgeweitet wurde (Abb. 3.4.6). Dieser Befund ist insofern überraschend, da der Strukturwandel mit dem Abbau von Stahlkapazitäten in NRW bis 2010 an sich schon recht weit fortgeschritten war. Offensichtlich ist es den NRW-Unternehmen aber nicht hinreichend genug gelungen, die Produktion in zukunftsfähigen Märkten auszuweiten. In unserer Langfristprognose rechnen wir daher mit einer Fortsetzung dieser Entwicklung und folglich einer moderaten Schrumpfung der Branche.

Abb. 3.4.6: Entwicklung der Metallindustrie



2010 = 100, kalender- und saisonbereinigte Werte

Eigene Darstellung und Berechnungen nach Angaben der Deutschen Bundesbank.

Weltweit betrachtet steigt allerdings aufgrund des Wachstums der Weltbevölkerung und des Lebensstandards die Nachfrage nach Metallen, die für zahlreiche Wertschöpfungsprozesse eine wichtige Rolle spielen. Der NRW-Metallindustrie bietet das Chancen z.B. für den Export von „sauberem“ Stahl. Es gibt bereits knapp zweitausend verschiedene Stahlsorten, es müssen aber dennoch ständig neue Stähle entwickelt werden, die leichter, flexibler, sicherer und recyclingfähiger sind. Die Metallindustrie ist somit immer noch einer der industriellen Schwerpunkte in NRW und Zulieferer für verschiedene industrielle Bereiche (einschließlich der Bauindustrie), im Inland geht der Bedarf aber tendenziell zurück.

Die Anlagen der NRW-Metallindustrie sind häufig noch zu sehr auf eine bestimmte Herkunft der Rohstoffe und auf spezielle Verarbeitungsprozesse ausgerichtet. Dies könnte künftig zu einem Problem werden, denn die entsprechenden Materialien werden zunehmend schwerer zu bekommen sein, da die Herkunftsländer dieser Rohstoffe deren Verhüttung oder Raffi-

nade selbst vornehmen werden. Die Hüttenwerke oder Gießereien in NRW sind zudem sehr energieintensiv und werden daher von den voraussichtlich deutlich steigenden Energiekosten negativ betroffen sein.

Vor allem die Stahlindustrie steht vor einer großen Transformation, denn aus der Reduktion von Eisenerz durch Koks-kohle zu Stahl resultiert eine CO₂-Problematik. Koks-kohle wird daher perspektivisch durch Wasserstoff ersetzt werden müssen. Die Herstellung von grünem Wasserstoff benötigt dabei entsprechende Technologien und Anlagen, die hohe Investitionen und erhebliche Stromkapazitäten erfordern werden. Zwar werden schon seit langem Bemühungen zur Senkung der Emissionen vorangetrieben, diese werden künftig aber forciert und stärker auf Wasserstofftechnologien ausgerichtet werden müssen. Bei Thyssen-Krupp und HKM in Duisburg gibt es bereits derartige Versuche mit Wasserstoff, die Verfahren sind zurzeit aber noch wesentlich teurer als die mit Koks-kohle. Die Technologieentwicklung wird die Kosten dafür senken, die vollständige Umstellung auf Wasserstofftechnologien wird aber frühestens Mitte des Jahrhunderts vollzogen sein.

Bis dahin wird Koks-kohle also noch erforderlich sein. Derzeit macht der Koks-kohlemarkt keine großen Probleme. Preissteigerungen sind aber durchaus möglich, denn weltweit werden weitere Hochöfen gebaut, die zusätzliche Koks-kohlemengen erfordern werden. Es sind aber auch viele andere Rohstoffe für die Metallindustrie relevant: Kalk sowie Kies und Sand werden aus dem Inland bezogen, zudem werden verschiedene Rohstoffe importiert (siehe hierzu auch Abschnitt 3.4). Wichtig ist dabei, dass die Rohstoffversorgung künftig herkunfts-unabhängiger wird.

Recycling lohnt sich heute schon bei einigen der Metalle, die in großen Mengen eingesetzt werden (Aluminium, Eisen, Kupfer), wobei die Recyclingquoten hier schon sehr hoch sind, zum Teil aber auch bei einigen risikobehafteten Rohstoffen (Edelmetalle, Gallium, Indium, Lithium). Bei anderen Metallen bedarf es dagegen technologischer Weiterentwicklungen, um die Wirtschaftlichkeit der Recyclingverfahren zu erhöhen.

Es gibt sowohl Primär- als auch Sekundärhütten in NRW. Im Stahlbereich besteht zwar kein besonders großer Optimierungsbedarf bezüglich des Recyclings mehr, aber die Recyclingquote von ca. 30% (bezogen auf die Stahlproduktion) ist noch ausbaufähig, was jedoch entsprechende Mengen an Stahlschrotten und höhere Verarbeitungskapazitäten voraussetzt. Schrotte sind zurzeit aber nur begrenzt verfügbar und für erheblich größere Schrottmengen fehlen noch die entsprechenden Kapazitäten bei den Hüttenwerken.

Da das Recycling von Stahlschrotten aber umso sinnvoller ist, je besser die Recyclingtechnologien werden, wird die Ausweitung der Aufbereitungskapazitäten immer bedeutender. Stahl ist einerseits langlebig und Produkte, in denen Stahl verarbeitet wurde, lassen sich bei Bedarf relativ gut reparieren, andererseits können Stahlschrotte mehrmals ohne Qualitätsverlust eingeschmolzen und wiederverwendet werden.

Kunststoffindustrie

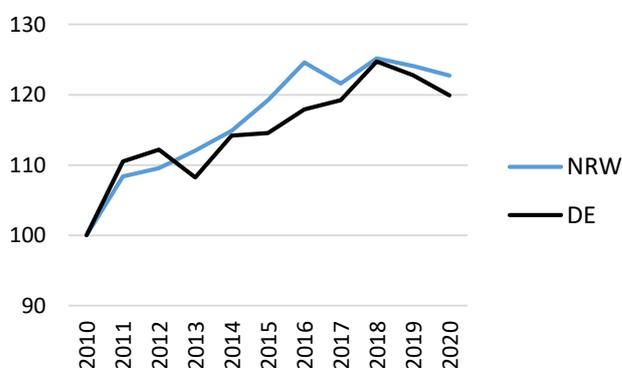
Die Kunststoffindustrie ist Teil der Klasse 22 der WZ 2008, die die Herstellung von Gummi- und Kunststoffwaren unterschiedlichster Ausprägung umfasst. Die Herstellung von Kunststoffwaren (WZ08-222) hat dabei im Bundesdurchschnitt einen Beschäftigten- und Umsatzanteil an der WZ-Klasse 22 von etwa drei Vierteln, in NRW sogar von neun Zehnteln. Hergestellt werden insbesondere Platten, Folien, Schläuche, Profile, Verpackungen und Baubedarfsartikel aus Kunststoffen.

Die Hersteller von Kunststoffwaren sehen sich ebenfalls anspruchsvollen Herausforderungen gegenüber. Was etwa für die Automobilindustrie die Elektrifizierung der Antriebe ist, stellt für die Kunststoffindustrie die Kreislaufwirtschaft dar. Hier werden in den kommenden Jahrzehnten weitreichende Veränderungen erwartet, die der Industrie sowohl Wachstumspotentiale als auch Herausforderungen bescheren dürften (Dispan und Mandler 2020).

Die Kunststoffindustrie ist in der zurückliegenden Dekade in Deutschland etwas stärker gewachsen als das Verarbeitende Gewerbe. Die Branche ist aber stärker auf den Binnenmarkt ausgerichtet als die Industrie insgesamt. Sie ist, ähnlich wie die Elektronik- und Elektroindustrie, durch viele kleine und mittelständische Unternehmen geprägt. Hier wird es daher in Zukunft interessant sein, zu beobachten, wie sich die Unternehmen der Branche gegenüber der teilweise großbetrieblich ausgerichteten ausländischen Konkurrenz behaupten können.

Bei den hohen Entwicklungskosten für neue Technologien kann sich der Industriezweig hierzulande auf Forschungscluster mit Universitäten stützen, in denen ein Großteil der Ausgaben für Forschung und Entwicklung getätigt wird. Dieser Standortvorteil der Branche dürfte helfen, die Herausforderungen immer höherer Nachhaltigkeits- und Wiederverwertungsstandards, der Digitalisierung, des Fachkräftemangels und eben der Kreislaufwirtschaft zu meistern. Anders als in den zuvor betrachteten anderen Schlüsselindustrien war die Entwicklung der Kunststoffindustrie in NRW nahezu deckungsgleich zur Entwicklung im Bundesdurchschnitt (Abb. 3.4.7).

Abb. 3.4.7: Entwicklung der Kunststoffindustrie



2010 = 100, kalender- und saisonbereinigte Werte

Eigene Darstellung und Berechnungen nach Angaben des statistischen Bundesamtes und von it.NRW.

Auch wenn sich daraus nicht automatisch Erkenntnisse hinsichtlich der künftigen Entwicklung ableiten lassen, deutet dies doch auf eine ähnliche Branchenstruktur hin. Von 2010 bis 2018 ist die Kunststoffindustrie relativ konstant gewachsen. Aufgrund des anspruchsvollen Umfelds fallen langfristige Prognosen für die Branche sehr unterschiedlich aus und reichen von moderatem Wachstum bis hin zu starken Rückgängen. Das letztere Szenario würde sich in einer relativen Wettbewerbschwäche der heimischen Industrie sowie in der Tatsache gründen, dass in Zukunft langlebigere Produkte in geringeren Stückzahlen abgesetzt werden können.

Verflechtungen zwischen den Schlüsselindustrien

Die Verflechtungen zwischen den verschiedenen Schlüsselindustrien sind sowohl in Hinblick auf den Rohstoffbezug als auch die Rohstoffversorgung relevant. Sie lassen sich z.B. anhand der Struktur der Vorleistungslieferungen an andere Wirtschaftssektoren (Tab. 3.4.2) oder des Bezugs der Vorleistungen von anderen Sektoren (Tab. 3.4.3) aufzeigen (die beiden Tabellen sollten für die Schlüsselindustrien jeweils spaltenweise gelesen werden).

Tab. 3.4.2: Vorleistungslieferungen der Schlüsselindustrien aus inländischer Produktion und Importen

Struktur der Lieferungen der Vorleistungen	Automobilindustrie	Chemische Industrie	Elektronik- und Elektroindustrie	Maschinenbau	Metallindustrie	Kunststoffindustrie
interner Verbrauch oder Lieferung von Vorleistungen an andere Sektoren						
Automobilindustrie	35	1	4	5	13	16
Chemische Industrie	0	40	0	0	1	2
Elektronik-/Elektroindustrie	0	0	22	0	4	3
Maschinenbau	1	1	5	23	9	7
Metallindustrie	0	1	0	1	46	1
Kunststoffindustrie	0	11	0	0	0	13
Vorleistungsquote insg.	39	70	52	35	89	77
Vorleistungen in Mrd. €	159	137	87	84	248	60
davon Importe in Mrd. €	43	76	51	31	71	19

in % des Produktionswerts der jeweiligen Sektoren im Jahr 2017 in Deutschland

Eigene Darstellung und Berechnungen nach Angaben der Input-Output-Tabelle des Statistischen Bundesamts (Destatis 2021c).

Tab. 3.4.3: Vorleistungsbezug der Schlüsselindustrien aus inländischer Produktion und Importen

Struktur des Bezugs der Vorleistungen	Automobilindustrie	Chemische Industrie	Elektronik- und Elektroindustrie	Maschinenbau	Metallindustrie	Kunststoffindustrie
Vorleistungsbezug innerhalb des Sektors oder von anderen Wirtschaftssektoren						
Automobilindustrie	35	0	0	3	0	0
Chemische Industrie	1	40	1	1	1	26
Elektronik-/Elektroindustrie	2	0	22	3	0	0
Maschinenbau	3	0	0	23	1	0
Metallindustrie	15	1	6	11	46	2
Kunststoffindustrie	3	1	2	2	0	13
Vorleistungsquote insg.	73	74	59	64	74	67
Vorleistungen in Mrd. €	295	143	100	154	206	53
davon Importe in Mrd. €	74	49	35	38	56	23

in % des Produktionswerts der jeweiligen Sektoren im Jahr 2017 in Deutschland

Eigene Darstellung und Berechnungen nach Angaben der Input-Output-Tabelle des Statistischen Bundesamts (Destatis 2021c).

Die Vorleistungsstrukturen und Verflechtungen zwischen den Schlüsselindustrien sind von Bedeutung, da dies für die Beschaffung der Rohstoffe relevant ist. Dies lässt Rückschlüsse zu, inwieweit der Rohstoff oder ein bereits weiterverarbeitetes Zwischenprodukt, das diesen Rohstoff enthält, eingesetzt wird. In letzterem Fall hat das entsprechende Unternehmen mit der Beschaffung der Rohstoffe nicht unmittelbar etwas zu

tu, da diese dann durch das verarbeitende und zuliefernde Unternehmen erfolgen.

Ein Teil der Vorleistungen wird innerhalb der jeweiligen Schlüsselindustrien weiterverarbeitet und geht daher sowohl bei den Lieferungen als auch beim Bezug als Vorleistung in den Sektor ein. Gemessen am Produktionswert schwankt der Anteil bei den einzelnen Industrien zwischen 13% in der

Kunststoffindustrie¹⁰ (für die Sekundärrohstoffe eine große Bedeutung haben) bis zu 40% in der Chemischen Industrie bzw. sogar 46% in der Metallindustrie, die zum einen in hohem Maße auf der Grundstoffproduktion basieren, diese Grundstoffe zugleich aber auch weiterverarbeiten. Die anderen Schlüsselindustrien pendeln sich dazwischen ein.

Die Vorleistungslieferungen an andere Wirtschaftssektoren sind in der Automobilindustrie relativ unbedeutend. Bei der Chemischen Industrie gibt es dagegen einen starken Konnex zur Kunststoffindustrie, was damit zusammenhängt, dass hierzu auch die Herstellung von Primärkunststoffen gehört, aber in geringerem Umfang auch zur Automobil- und Metallindustrie sowie zum Maschinenbau. Die Elektronik- und Elektroindustrie beliefert insbesondere die Automobilindustrie und den Maschinenbau, letzterer in erster Linie die Automobilindustrie und in geringerem Umfang auch die Metallindustrie. Die Metallindustrie wiederum liefert Vorleistungen in beträchtlichem Umfang an die Automobilindustrie und den Maschinenbau, aber auch an die Elektronik- und Elektroindustrie. Die Kunststoffindustrie beliefert alle Schlüsselindustrien, vor allem die Automobilindustrie und den Maschinenbau. In etwa spiegelbildlich stellt sich das Bild beim Vorleistungsbezug dar.

Besonders bedeutend für die Belieferung der Schlüsselindustrien mit Vorleistungen ist somit die Metallindustrie. Dies kommt auch darin zum Ausdruck, dass die am Produktionswert gemessene Vorleistungsquote mit fast neun Zehnteln besonders hoch ist. Etwa die Hälfte davon wird innerhalb der Metallindustrie weiterverarbeitet, die andere Hälfte geht als Vorleistungen in andere Wirtschaftszweige ein, zu knapp zwei Dritteln in die anderen Schlüsselindustrien. Bei der Metallindustrie ist zudem der Anteil der Rohstoffe an den Vorleistungen besonders hoch, da hier beispielsweise in einem nicht unerheblichen Umfang Erze verhüttet und Rohstoffe raffiniert (also verarbeitet bzw. veredelt) werden. Insofern dürfte die Bedeutung der Metallindustrie für den Rohstoffbezug über die bei den Vorleistungen noch hinausgehen, während andere Schlüsselindustrien vermehrt bereits „veredelte“ Rohstoffe einsetzen.

Relevanz der Rohstoffe für die Schlüsselindustrien

Nachdem in Abschnitt 3.3 die risikobehafteten Importrohstoffe identifiziert und deren Relevanz für NRW ermittelt wurden, ist in diesem Abschnitt zunächst die Struktur sowie die bisherige und voraussichtlich künftige Entwicklung der verschiedenen rohstoffnachfragenden NRW-Schlüsselindustrien aufgezeigt worden. Im Folgenden wird nunmehr zunächst der Bezug zwischen den risikobehafteten Rohstoffen und den NRW-Schlüsselindustrien hergestellt. Im Anschluss erfolgt dann eine Zuordnung der Zukunftstechnologien zu den Schlüsselindustrien, soweit sie von diesen adressiert werden. Daraus wird dann anhand von Häufigkeiten abgeleitet, welche Rohstoffe

aufgrund der Etablierung der Zukunftstechnologien von den jeweiligen Schlüsselindustrien zusätzlich benötigt werden.

Ein zentraler Aspekt hinsichtlich des künftigen Bedarfs mineralischer Rohstoffe ist zudem die Identifizierung von Zukunftstechnologien, die für die verschiedenen NRW-Schlüsselindustrien künftig voraussichtlich eine besondere Rolle spielen werden. Hieraus ergibt sich dann ein Bild, welche Zukunftstechnologien für welche Industrien künftig besonders relevant sein dürften. Aus der Struktur und Entwicklung der Schlüsselindustrien sowie der von diesen etablierten Zukunftstechnologien kann dann abgeleitet werden, welche potenziellen zusätzlichen Rohstoffbedarfe und strukturellen Veränderungen bzw. Risiken daraus resultieren könnten.

Eine genaue Bezifferung, welche Mengen oder Werte der einzelnen Rohstoffe in den jeweiligen NRW-Schlüsselindustrien eingesetzt werden, kann allerdings nicht geleistet werden. Das lässt die verfügbare Datenbasis schlicht nicht zu und es gibt auch noch keine Modelle, die das approximieren könnten, beispielsweise in Form von Stoffstromanalysen.

Wie komplex sich das alleine in Bezug auf die Produktebene darstellen würde, woraus dann auf die damit einhergehende Betroffenheit von Unternehmen oder ganzer Industrien geschlossen werden müsste, lässt sich anhand der Zusammensetzung eines Smartphones recht prägnant dokumentieren: In den 2019 weltweit verkauften 1,4 Mrd. Smartphones sind jeweils knapp 70 verschiedene Rohstoffe verbaut, darunter auch Edel- und Seltenerdenmetalle (Bookhagen und Bastian 2020: 2). Selbst wenn der Rohstoffbedarf der Industrien geschätzt werden könnte, wäre der daraus resultierende Erkenntniswert gering, da es eher um die Betroffenheit von Unternehmen geht. Es kommt im Übrigen mehr auf die Veränderungen der Rohstoffbedarfe an. Diese wiederum lassen sich zumindest approximativ einigermaßen erfassen, woraus im Folgenden dann Tendenzaussagen abgeleitet werden.

Für die Elektroindustrie und den Maschinenbau sind nahezu alle risikobehafteten Rohstoffe relevant, zudem rund zwei Drittel der Zukunftstechnologien (Abb. 3.4.8 und Abb. 3.4.9). Das hängt damit zusammen, dass sie fast alle technologischen Trends inkludieren. Dies betrifft etwa die Digitalisierung, Automatisierung und Dekarbonisierung der Wirtschaft, die Elektrifizierung der Antriebe und die Energiewende sowie die damit im Zusammenhang stehenden Zukunftstechnologien.

Die Elektronik- und Elektroindustrie und der Maschinenbau setzten die damit in Verbindung stehenden Technologien entweder selbst ein oder sie adressieren diese zumindest durch die von ihnen erstellten Produkte. Sie gehen dann z.B. als Vorleistungen in andere Industrien ein, in denen diese Trends daraufhin zum Teil ebenfalls zum Tragen kommen.

¹⁰ Die Kunststoffindustrie wird hier zusammen mit der Herstellung von Gummiwaren ausgewiesen, da die Input-Output-Tabelle die Herstellung von Kunststoffwaren nicht separat ausweist. Auf die Herstel-

lung von Gummiwaren entfallen etwa ein Fünftel der SV-Beschäftigten der Herstellung von Gummi- und Kunststoffwaren insgesamt und gut ein Viertel der Umsätze.

Eine ähnliche Querschnittsfunktion kommt auch der Metallindustrie zu, die aber eine weniger disparate Produktionsstruktur aufweist und nicht so technologie- und innovationsintensiv ist, wie der Maschinenbau oder die Elektronik- und Elektroindustrie. Für die Metallindustrie sind daher auch nur etwa zwei Drittel der risikobehafteten Rohstoffe und vergleichsweise wenige Zukunftstechnologien relevant. Das gilt mit gewissen Einschränkungen auch für die Automobilindustrie, wobei die hierfür relevanten Zukunftstechnologien allerdings von herausragender Bedeutung sind, und vor allem für die Chemische Industrie. Die Kunststoffindustrie setzt dagegen nur etwa ein Viertel der risikobehafteten Rohstoffe ein, für sie sind zudem nur wenige Zukunftstechnologien relevant.

In Hinblick auf die Einschätzung, wie sich die Zukunftstechnologien auf die Rohstoffbedarfe auswirken könnten, ist zunächst einmal eine Zuordnung dieser Technologien zu den dafür relevanten risikobehafteten Rohstoffen erforderlich. Dies erfolgt in Abbildung 3.4.10 für die Rohstoffe mit hohem Risiko und in Abbildung 3.4.11 für die mit mittlerem Risiko. In Tabelle 3.4.4 und Abbildung 3.4.12 wird schließlich dargestellt, für wie viele Zukunftstechnologien in den einzelnen Schlüsselindustrien bestimmte risikobehaftete Rohstoffe benötigt werden.

Abb. 3.4.8: Risikobehaftete Importrohstoffe und deren Einsatz in den NRW-Schlüsselindustrien

Rohstoffe	Einsatz der Rohstoffe in den NRW-Schlüsselindustrien					
	Automobil-industrie	Chemische Industrie	Elektronik-/ Elektroindustrie	Maschinenbau	Metall-industrie	Kunststoff-industrie
Rohstoffe mit hohem Risiko						
Chrom						
Dysprosium						
Gallium						
Germanium						
Graphit						
Indium						
Kobalt						
Lithium						
Mangan						
Neodym						
Palladium						
Platin						
Praseodym						
Scandium						
Silber						
Tantal						
Titan						
Wolfram						
Yttrium						
Zinn						
Rohstoffe mit mittlerem Risiko						
Aluminium						
Antimon						
Blei						
Gold						
Kupfer						
Magnesium						
Molybdän						
Nickel						
Niob						
Rhenium						
Rhodium						
Ruthenium						
Silizium						
Vanadium						
Zink						

Graueinfärbung = Rohstoff wird in der jeweiligen Schlüsselindustrie eingesetzt

Eigene Darstellung und Berechnungen nach Literaturangaben und Internetrecherchen.

Abb. 3.4.9: Zuordnung der Zukunftstechnologien zu den NRW-Schlüsselindustrien

Zukunftstechnologien	NRW-Schlüsselindustrien					
	Automobil-industrie	Chemische Industrie	Elektronik-/Elektroin-dustrie	Maschinen-bau	Metall-industrie	Kunststoff-industrie
Additive Fertigung (3D-Drucker)						
Automatisches Pilotieren von Fahrzeugen						
Bleifreie Lote						
Brennstoffzellen für Elektrofahrzeuge						
Dünnschicht-Photovoltaik						
Elektrische Traktionsmotoren für E-Autos						
Farbstoffsolarzellen						
Festkörper-Laser für industrielle Fertigung						
Glasfaserkabel						
Hochleistungs-Mikrochips						
Hochleistungs-Permanentmagnete						
Hochtemperatursupraleiter						
Indium-Zinn-Oxid in der Displaytechnik						
Induktive Übertragung elektr. Energie						
Industrie 4.0						
Infrarot-Detektoren in Nachtsichtgeräten						
Lithium-Ionen-Elektrizitätsspeicher						
Meerwasserentsalzung						
Micro-Energy Harvesting						
Mikroelektrische Kondensatoren						
Nanosilber						
Optoelektronik und Photonik						
Redox-Flow-Speicher						
RFID – Radio Frequency Identification						
SOFC – Stationäre Brennstoffzelle						
Solarthermisches Kraftwerk						
Stahlleichtbau mit Tailored Blanks						
Superkondensatoren für Kraftfahrzeuge						
Superlegierungen						
Synthetische Kraftstoffe						
Thermische Speicher						
Thermoelektrische Generatoren						
Ultraeffiziente industrielle Elektromotoren						
Wasser-Elektrolyse						
Weißer LED						
Windkraftanlagen						

Graueinfärbung = ist für die jeweilige Industrie eine relevante Technologie

Eigene Darstellung nach Angaben von DERA (2016 und 2021c).

Abb. 3.4.10: Zuordnung der Zukunftstechnologien zu Rohstoffen mit hohem Risiko

Zukunftstechnologien/Rohstoffe	Chrom	Dysprosium	Gallium	Germanium	Graphit	Indium	Kobalt	Lithium	Mangan	Neodym	Palladium	Platin	Praseodym	Scandium	Silber	Tantal	Titan	Wolfram	Yttrium	Zinn
Additive Fertigung (3D-Drucker)																				
Automatisches Pilotieren von Straßenfahrzeugen																				
Bleifreie Lote																				
Brennstoffzellen für Elektrofahrzeuge																				
Dünnschicht-Photovoltaik																				
Elektrische Traktionsmotoren z.B. für E-Autos																				
Farbstoffsolarzellen																				
Festkörper-Laser für industrielle Fertigung																				
Glasfaserkabel																				
Hochleistungs-Mikrochips																				
Hochleistungs-Permanentmagnete																				
Hochtemperatursupraleiter																				
Indium-Zinn-Oxid in der Displaytechnik																				
Induktive Übertragung elektrischer Energie																				
Industrie 4.0																				
Infrarot-Detektoren in Nachtsichtgeräten																				
Lithium-Ionen-Hochleistungs-Elektrizitätsspeicher																				
Meerwasserentsalzung																				
Micro-Energy Harvesting aus Umgebungsenergie																				
Mikroelektrische Kondensatoren																				
Nanosilber																				
Optoelektronik und Photonik																				
Redox-Flow-Speicher																				
RFID – Radio Frequency Identification																				
SOFC – Stationäre Brennstoffzelle																				
Solarthermisches Kraftwerk																				
Stahlleichtbau mit Tailored Blanks																				
Superkondensatoren für Kraftfahrzeuge																				
Superlegierungen																				
Synthetische Kraftstoffe																				
Thermische Speicher																				
Thermoelektrische Generatoren																				
Ultraeffiziente industrielle Elektromotoren																				
Wasser-Elektrolyse																				
Weißer LED																				
Windkraftanlagen																				

Graueinfärbung = der Rohstoff ist für die jeweilige Zukunftstechnologie relevant

Eigene Darstellung nach Angaben von DERA (2016 und 2021c).

Abb. 3.4.11: Zuordnung der Zukunftstechnologien zu Rohstoffen mit mittlerem Risiko

Zukunftstechnologien/Rohstoffe	Aluminium	Antimon	Blei	Gold	Kupfer	Magnesium	Molybdän	Nicke I	Niob	Rhenium	Rhodium	Ruthenium	Silizium	Vanadium	Zink
Additive Fertigung (3D-Drucker)					■										
Automatisches Pilotieren von Straßenfahrzeugen	■				■								■		
Bleifreie Lote				■	■			■		■					
Brennstoffzellen für Elektrofahrzeuge					■										
Dünnschicht-Photovoltaik					■								■		
Elektrische Traktionsmotoren z.B. für E-Autos					■										
Farbstoffsolarzellen												■	■		■
Festkörper-Laser für industrielle Fertigung															
Glasfaserkabel															
Hochleistungs-Mikrochips		■											■		
Hochleistungs-Permanentmagnete															
Hochtemperatursupraleiter					■				■						
Indium-Zinn-Oxid in der Displaytechnik															
Induktive Übertragung elektrischer Energie					■										
Industrie 4.0			■						■						
Infrarot-Detektoren in Nachtsichtgeräten			■						■						■
Lithium-Ionen-Hochleistungs-Elektrizitätsspeicher					■			■	■						
Meerwasserentsalzung	■						■	■							■
Micro-Energy Harvesting aus Umgebungsenergie					■										
Mikroelektrische Kondensatoren		■			■			■	■						
Nanosilber															
Optoelektronik und Photonik															
Redox-Flow-Speicher															■
RFID – Radio Frequency Identification	■				■								■		
SOFC – Stationäre Brennstoffzelle								■							
Solarthermisches Kraftwerk	■														
Stahlleichtbau mit Tailored Blanks	■					■									
Superkondensatoren für Kraftfahrzeuge	■							■							
Superlegierungen		■					■	■	■	■					
Synthetische Kraftstoffe										■	■				
Thermische Speicher													■		
Thermoelektrische Generatoren					■										
Ultraeffiziente industrielle Elektromotoren					■										
Weißer LED	■														■
Wasser-Elektrolyse	■				■			■							
Windkraftanlagen					■										

Graueinfärbung = der Rohstoff ist für die jeweilige Zukunftstechnologie relevant

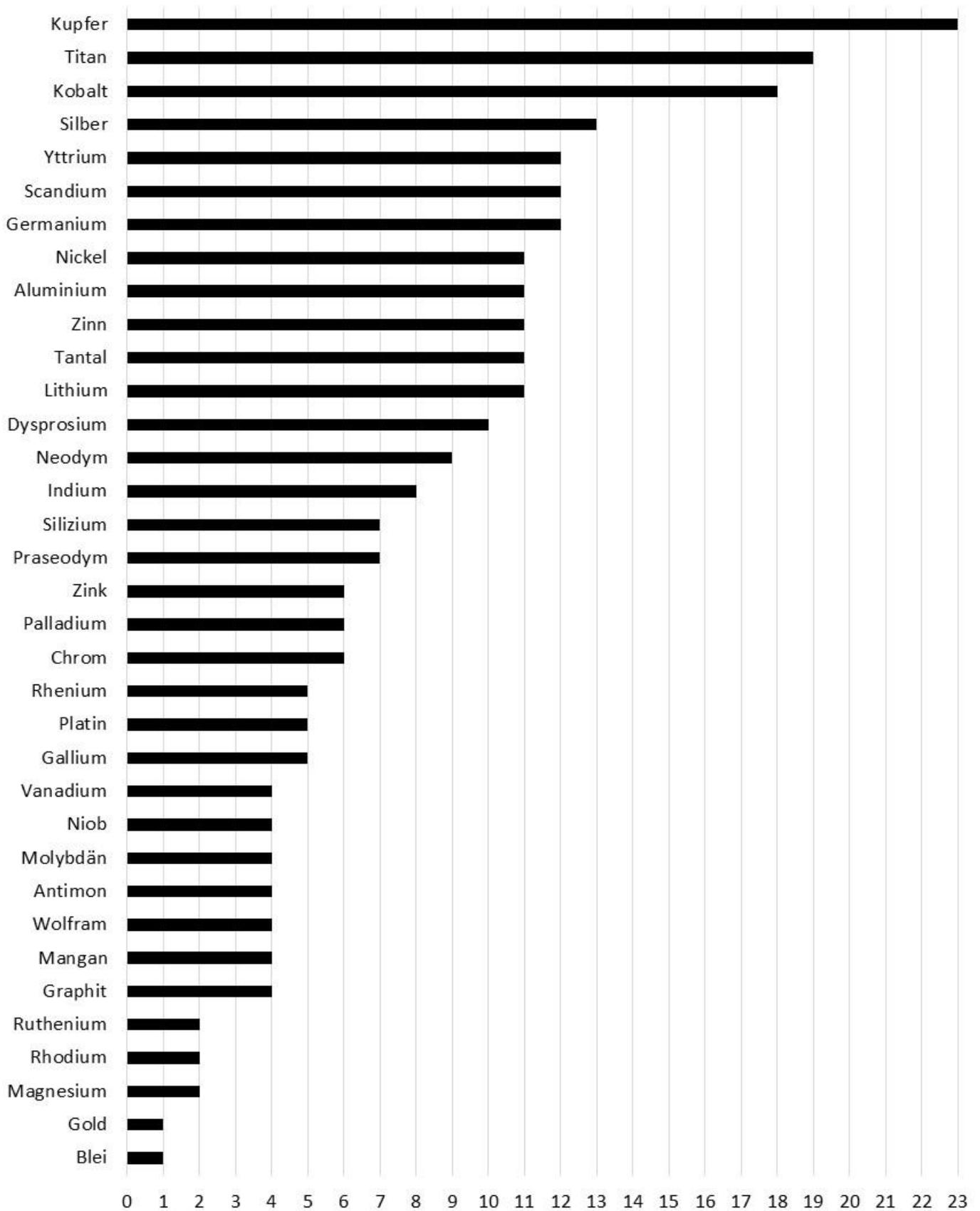
Eigene Darstellung nach Angaben von DERA (2016 und 2021).

Tab. 3.4.4: Zahl der Nennungen der risikobehafteten Rohstoffe für Zukunftstechnologien in den Schlüsselindustrien

Rohstoffe	NRW-Schlüsselindustrien					
	Automobil- industrie	Chemische Industrie	Elektronik-/ Elektroindustrie	Maschinen- bau	Metall- industrie	Kunststoff- industrie
	Rohstoffe mit hohem Risiko					
Chrom	1	1	2	4		
Dysprosium	2		3	4	1	
Gallium	1		3	1		
Germanium	1		4	3	2	2
Graphit	2		1	1		
Indium	1		5	2		
Kobalt	6	1	5	5		1
Lithium	2		4	3	1	1
Mangan		1	1	2		
Neodym	4		4	4	1	
Palladium	2	2	1	1		
Platin	2	1	1	1		
Praseodym	2		2	2	1	
Scandium	2	1	3	3	2	1
Silber		1	7	4	1	
Tantal	2		5	2	1	1
Titan	4	1	6	6	1	1
Wolfram	1		2	1		
Yttrium	3	1	4	3	1	
Zinn	3		6	2		
	Rohstoffe mit mittlerem Risiko					
Aluminium	4	1	3	2	1	
Antimon			3	1		
Blei			1			
Gold			1			
Kupfer	6		9	6	2	1
Magnesium	1				1	
Molybdän		1	1	2		
Nickel	2	1	4	4		
Niob			3	1		
Rhenium	1	1	2	1		
Rhodium	1	1				
Ruthenium			1	1		
Silizium	1		4	3		
Vanadium		1	1	2		
Zink	1		2	2	1	

Eigene Darstellung und Berechnungen.

Abb. 3.4.12: Zahl der Nennungen der risikobehafteten Rohstoffe für Zukunftstechnologien in den Schlüsselindustrien



Eigene Darstellung und Berechnungen.

Die Verteilung der risikobehafteten Rohstoffe auf die Schlüsselindustrien ist aufgrund der Vorleistungsverflechtungen zwischen den Industrien nicht immer trennscharf. Viele Rohstoffe, die etwa in einem Automobil enthalten sind, werden tatsächlich in anderen Sektoren in Zwischenprodukten verwendet (z.B. von der Metall- oder Elektronik- und Elektroindustrie bzw. dem Maschinenbau), die dann von der Automobilindustrie als Teile in Autos eingebaut werden. Aufgrund der Häufigkeitsverteilung lässt sich erkennen, inwieweit die Zukunftstechnologien einen zusätzlichen Bedarf von risikobehafteten Rohstoffen hervorrufen. Das Ergebnis dieser Extrapolation wird im Folgenden für die NRW-Schlüsselindustrien erläutert:

Automobilindustrie

Die Automobilindustrie ist in NRW im Vergleich zum Bund unterrepräsentiert. Da sie vor einem strukturellen und technologischen Umbruch steht, sind Voraussagen hinsichtlich ihrer künftigen Entwicklung mit besonderen Unsicherheiten behaftet. Angesichts des Umstands, dass die Heimatmärkte weitgehend gesättigt sind, nicht sicher ist, ob wenigstens, wie bisher, die Produktion des Premiumsegments hier verbleiben kann, und es schließlich auch eine Tendenz gibt, dass auch die Zulieferer ihre Standorte zunehmend in die Absatzregionen verlagern, sind einem Bedeutungszuwachs der Automobilindustrie in Deutschland enge Grenzen gesetzt. Von der Automobilindustrie werden 13 Zukunftstechnologien adressiert:

Additive Fertigung mit 3D-Druckern (Kupfer), das automatische Pilotieren von Fahrzeugen (Aluminium, Kupfer, Neodym, Silizium, Yttrium, Zinn), elektrische Transaktionsmotoren für E-Autos (Graphit, Kobalt, Kupfer, Neodym), die induktive Übertragung elektrischer Energie (Kupfer), Industrie 4.0 (Germanium, Lithium, Scandium, Tantal), Lithium-Ionen-Hochleistungs-Elektrizitätsspeicher (Graphit, Kobalt, Lithium, Nickel), Micro-Energy Harvesting aus Umgebungsenergie (Chrom, Dysprosium, Kobalt, Kupfer, Neodym, Titan, Zinn), PEM-Brennstoffzellen für Elektrofahrzeuge (Kobalt, Neodym, Palladium, Platin, Scandium, Yttrium, Zinn), Stahlleichtbau mit Tailored Blanks (Aluminium, Magnesium, Titan), Superkondensatoren für Kraftfahrzeuge (Aluminium, Nickel, Tantal, Titan), synthetische Kraftstoffe (Kobalt, Palladium, Platin, Rhenium, Rhodium) und weiße LED (Aluminium, Gallium, Indium, Wolfram, Yttrium, Zink).

Es werden somit viele risikobehaftete Rohstoffe benötigt. Inwieweit die Automobilindustrie in NRW die Zukunftstechnologien letztendlich auch adressieren wird, bleibt abzuwarten. Die Ergebnisse der Auswertung der Außenhandelsstatistik geben Hinweise darauf, dass einige der von den genannten Zukunftstechnologien betroffenen risikobehafteten Rohstoffe in NRW noch keine so herausragende Rolle spielen. Es ist aber durchaus möglich, dass sich das in Zukunft ändern wird.

Chemische Industrie

Die Chemische Industrie ist gemessen am Umsatz- und dem Wertschöpfungsanteil der größte Industriezweig in NRW. Es

kommen aber nur vier der hier angeführten Zukunftstechnologien zum Einsatz. Für Nanosilber ist Silber erforderlich. Bei der Meerwasserentsalzung kommen die Rohstoffe Aluminium, Chrom, Mangan, Molybdän, Nickel, Palladium, Titan und Vanadium zum Einsatz, bei der Herstellung von synthetischen Kraftstoffen Kobalt, Palladium, Platin, Rhenium und Rhodium und bei der Wasser-Elektrolyse Aluminium, Chrom, Kobalt, Kupfer, Mangan, Nickel, Platin, Scandium, Titan und Yttrium.

Alles in allem ist somit der zusätzliche Rohstoffbedarf, der aus der möglichen Etablierung von Zukunftstechnologien resultiert, selbst unter Berücksichtigung der Größe dieses Industriezweigs geringer als in einigen der anderen Schlüsselindustrien. Der Einsatz der Rohstoffe, die schon eingesetzt werden, dürfte zudem perspektivisch sinken. Zum einen wird der in NRW hohe Anteil der organischen Grundstoffchemie das Wachstum bremsen, zum anderen wird der für die anorganische Spezialchemie erforderliche Rohstoffeinsatz von der vermutlich weiter steigenden Rohstoffeffizienz und der weiteren Verbesserung der Recyclingtechnologien profitieren.

Elektronik- und Elektroindustrie

Insbesondere die Elektronikindustrie ist in NRW zurzeit noch unterrepräsentiert. Allerdings hat sie ihre relative Position in Relation zum Bundesdurchschnitt zuletzt verbessern können. Es besteht daher die realistische Hoffnung, dass die Branche künftig eine größere Bedeutung als bislang erlangen könnte. Die Elektronik- und Elektroindustrie ist sehr innovations-, wachstums- und rohstoffintensiv, daher kommen hier zahlreiche Technologien und nahezu alle Rohstoffe zum Einsatz. Es werden 23 Zukunftstechnologien adressiert:

Additive Fertigung mit 3D-Druckern (Kupfer), automatisches Pilotieren von Fahrzeugen (Aluminium, Kupfer, Neodym, Silizium, Yttrium, Zinn), bleifreie Lote (Gold, Indium, Kupfer, Nickel, Rhenium, Silber, Zinn), Farbstoffsolarzellen (Indium, Platin, Ruthenium, Silber, Silizium, Titan, Zink, Zinn), Festkörper-Laser für die industrielle Fertigung (Dysprosium, Neodym, Scandium, Yttrium), Glasfaserkabel (Germanium), Hochleistungs-Mikrochips (Antimon, Gallium, Germanium, Silizium), Hochleistungs-Permanentmagnete (Dysprosium, Neodym, Praseodym), Hochtemperatursupraleiter (Kobalt, Silber, Titan, Yttrium), Indium-Zinn-Oxid der Displaytechnik (Indium, Zinn), induktive Übertragung elektrischer Energie (Kupfer), Industrie 4.0 (Germanium, Lithium, Scandium, Tantal), Infrarot-Detektoren (Blei, Germanium, Lithium, Niob, Scandium, Tantal, Vanadium), Lithium-Ionen- Elektrizitätsspeicher (Graphit, Kobalt, Lithium, Nickel), Micro-Energy Harvesting (Chrom, Dysprosium, Kobalt, Neodym, Titan, Zinn), mikroelektrische Kondensatoren (Antimon, Kupfer, Mangan, Nickel, Niob, Palladium, Silber, Tantal, Titan, Zinn), Nanosilber (Silber), Optoelektronik und Photonik (Gallium, Indium), RFID – Radio Frequency Identification (Aluminium, Kupfer, Silber, Silizium), thermoelektrische Generatoren (Germanium, Kupfer, Silber), ultraeffiziente industrielle Elektromotoren (Kupfer) sowie weiße LED (Aluminium, Gallium, Indium, Wolfram, Yttrium, Zink).

Es werden von der Elektronik- und Elektroindustrie die meisten Zukunftstechnologien aller Schlüsselindustrien angesprochen, die nahezu alle risikobehafteten Rohstoffe beanspruchen (insgesamt 32 von 35). Mit 104 werden auch die meisten Nennungen erzielt, wobei Kupfer (9), Silber (7) sowie Titan und Zinn (je 6) die meisten auf sich vereinigen. Angesichts dieses umfassenden Rohstoffbedarfs und der voraussichtlich weiter positiven Entwicklung der Branche gerade in NRW sind die Anforderungen in Hinblick auf die Rohstoffversorgung hier auch am größten. Dies sollte besonders im Auge behalten werden, damit sich die zahlreichen Zukunftstechnologien entfalten können und deren Etablierung nicht gefährdet wird.

Maschinenbau

Der Maschinenbau ist in NRW auch im Vergleich mit dem Bundesdurchschnitt sehr solide aufgestellt. Die Ausrichtung ist ähnlich, wenn auch etwas stärker auf die Wirtschaftsstruktur von NRW zugeschnitten. Die Branche hat sich aber immer wieder als sehr anpassungsfähig erwiesen und meist gut auf die Strukturwandelprozesse reagieren können. Die internationale Wettbewerbsfähigkeit ist hoch, was entscheidend ist, weil der Maschinenbau klassischerweise exportorientiert ist, was die Branche auch in NRW kennzeichnet. Der Maschinenbau adressiert die zweitmeisten Zukunftstechnologien (19):

Additive Fertigung mit 3-D-Druckern (Kupfer), Dünnschicht-Photovoltaik (Gallium, Germanium, Indium, Kupfer, Silizium), Farbstoffsolarzellen (Indium, Platin, Ruthenium, Silber, Silizium, Titan, Zinn), Festkörper-Laser für industrielle Fertigung (Dysprosium, Neodym, Scandium, Yttrium), Hochleistungs-Permanentmagnete (Dysprosium, Neodym, Praseodym), Hochtemperatursupraleiter (Kobalt, Silber, Titan, Yttrium), Industrie 4.0 (Germanium, Lithium, Scandium, Tantal), Lithium-Ionen-Hochleistungs-Elektrizitätsspeicher (Graphit, Kobalt, Lithium, Nickel), Meerwasserentsalzung (Aluminium, Chrom, Mangan, Molybdän, Nickel, Palladium, Titan, Vanadium), Micro-Energy Harvesting aus Umgebungsenergie (Chrom, Dysprosium, Kobalt, Neodym, Titan, Zinn), Redox-Flow-Speicher (Chrom, Vanadium), SOFC – Stationäre Brennstoffzelle (Mangan, Nickel, Scandium, Yttrium), solarthermisches Kraftwerk (Aluminium, Silber), thermische Speicher (Lithium, Silizium), thermoelektrische Generatoren (Germanium, Kupfer, Silber), ultraeffiziente industrielle Elektromotoren (Kupfer) und Windkraftanlagen (Dysprosium, Kupfer, Neodym, Praseodym, Zink).

Damit würden vom Maschinenbau im Falle der Etablierung sämtlicher Zukunftstechnologien zusätzliche Rohstoffbedarfe bei 31 der 35 risikobehafteten Rohstoffe entstehen. Die insgesamt 79 Nennungen entfallen besonders häufig auf Kupfer, Titan und Wolfram (je 6), Kobalt (5) sowie Chrom, Dysprosium, Neodym, Nickel, Silber und Titan (je 4).

Metallindustrie

Die Metallindustrie ist die zweitgrößte Schlüsselindustrie in NRW. Ihre relative Bedeutung geht allerdings immer mehr zurück, was sich auch künftig fortsetzen wird. Insofern dürfte

auch angesichts des nur noch moderaten Wachstums der Gesamtwirtschaft in NRW der Rohstoffbedarf der Metallindustrie sinken. Nichtsdestotrotz spielt das Thema Rohstoffe gerade für die Metallindustrie eine besonders große Rolle, da sie davon viel unmittelbarer tangiert wird und metallische Erze beschafft werden müssen, um sie z.B. in Hüttenwerken zu Metallen zu verarbeiten. Diese werden dann entweder innerhalb der Metallindustrie weiterverarbeitet oder gehen in andere Industrien als Vorleistungen ein bzw. werden exportiert.

Die Metallindustrie adressiert nicht so viele, aber fünf wichtige Zukunftstechnologien. Das bezieht sich zunächst auf Industrie 4.0 und die Rohstoffe Germanium, Lithium, Scandium und Tantal. Im Bereich Stahlleichtbau mit Tailored Blanks werden die Rohstoffe Aluminium, Magnesium und Titan benötigt und für thermoelektrische Generatoren Germanium, Kupfer und Silber. Die Wasser-Elektrolyse erfordert Aluminium, Chrom, Kobalt, Kupfer, Mangan, Nickel, Platin, Scandium, Titan und Yttrium. Zudem wird die Metallindustrie eine wichtige Rolle beim Bau von Windkraftanlagen spielen, was einen zusätzlichen Bedarf an Dysprosium, Kupfer, Neodym, Praseodym und Zink erfordert. Insofern stellt für die Metallindustrie künftig nicht nur die Substitution von Koks Kohle durch grünen Wasserstoff eine Herausforderung dar, sondern auch die Sicherung der Versorgung mit risikobehafteten Rohstoffen.

Kunststoffindustrie

Für die Kunststoffindustrie sind fünf Zukunftstechnologien relevant, wobei für den carbonfaserverstärkten Kunststoffleichtbau und Carbon Nanotubes kein Bedarf an risikobehafteten Rohstoffen festgestellt werden konnte. Für die additive Fertigung mit 3-D-Druckern ist lediglich Kupfer erforderlich, für die Herstellung von Glasfaserkabeln Germanium. Da für die Kunststoffindustrie auch Industrie 4.0 relevant ist, kann hieraus ein Bedarf für Germanium, Lithium, Scandium und Tantal entstehen. In der Kunststoffindustrie ist die Umsetzung einer Kreislaufwirtschaft weit gediehen. Zudem ist der Einsatz von risikobehafteten Rohstoffen und die zu erwartende Etablierung von Zukunftstechnologien weniger bedeutend als in anderen Schlüsselindustrien. Insofern ist auch nicht davon auszugehen, dass es künftig in der Kunststoffindustrie bezüglich der Rohstoffversorgung größere Probleme geben wird.

Engpässe bei der Versorgung mit Primärrohstoffen

Vor dem Hintergrund des künftigen Bedarfs risikobehafteter Rohstoffe und der Versorgung mit diesen Rohstoffen über die jeweiligen Rohstoffmärkte stellt sich die Frage, inwieweit mögliche Engpässe voraussehbar sind und wie diese antizipiert werden können. Eine solche Antizipation ist dann besonders relevant, wenn ansonsten die Konkurrenzfähigkeit der Unternehmen oder ganzer Industrien in NRW infrage gestellt sein könnte, etwa durch die Störung der Lieferketten bzw. Bezugswege infolge veränderter Rahmenbedingungen oder Rohstoffpreiserhöhungen. Dies ist vor allem in Hinblick auf die anstehenden technologischen Veränderungen in Schlüsselindustrien und damit einhergehenden Auswirkungen auf deren Wertschöpfungsketten von besonderer Relevanz.

Zur Beantwortung dieser Frage bedarf es zunächst der Klärung, was in dem Sinne unter einem Engpass zu verstehen ist. Dabei kann es sich theoretisch um ein vorübergehendes Ausbleiben der physischen Lieferung von bestimmten Rohstoffen handeln. Wenn diese für die jeweiligen Produktionsprozesse essenziell sind, könnte das dazu führen, dass die Prozesskette unterbrochen wird und es zu Produktionsausfällen kommt. Die Entstehung solcher Situationen wurde meist auch nicht dadurch hervorgerufen, dass Förderländer nicht mit den WTO-Vorgaben kompatiblen Exporteinschränkungen vornahmen, sondern weil Lieferanten ihren Lieferverpflichtungen aufgrund von z.B. spekulativ bedingten Marktverknappungen nicht nachkommen konnten. Es ist allerdings, das lehrt zumindest die Vergangenheit, nur äußerst selten vorgekommen, dass sich eine solche Situation über längere Zeit hinzog.

Es ist für die Unternehmen in NRW daher von großer Bedeutung, sich nicht zu sehr von einem einzigen Lieferanten abhängig zu machen, sondern bei Bedarf auf alternative Beschaffungswege ausweichen zu können (siehe dazu auch die entsprechenden Empfehlungen in Abs. 5). In dem Zusammenhang muss man sich vergegenwärtigen, dass nur wenige Unternehmen überhaupt mit einem direkten Rohstoffbezug z.B. auf den internationalen Rohstoffmärkten zu tun haben. Meist beziehen sie ihre Rohstoffe bei entsprechenden Händlern, mit denen sie Vereinbarungen hinsichtlich der Menge der Lieferung bestimmter Rohstoffe abgeschlossen haben. Diese Vereinbarungen beinhalten entweder Preisgleitklauseln, die sich in der Regel an den auf Börsenplätzen gestellten Rohstoffpreisen orientieren, oder Festpreise, die für bestimmte Zeiträume stabil bleiben. Die vereinbarten Preise können zwar zum Abschluss der Vereinbarung etwas über dem Marktpreis liegen, dafür bleiben sie aber über den Vereinbarungszeitraum hinweg stabil.

Der Preisaufschlag ist dann eine Art von Versicherungsprämie gegen Preisschwankungen. Wenn beispielsweise ein Unternehmen, das bestimmte Rohstoffe verarbeitet, diesen Rohstoff über das u.a. im nordrhein-westfälischen Lünen angesiedelte Unternehmen Aurubis bezieht, wird Aurubis diese Rohstoffe durch ein Hedging über die Terminmärkte preislich absichern. Da eine solche Preisabsicherung mit Kosten verbunden ist, muss das rohstoffnachfragende Unternehmen diese zwar tragen, dafür hat es weder etwas mit der Rohstoffbeschaffung noch der Preisabsicherung zu tun, wofür viele Unternehmen auch nicht die erforderlichen Kapazitäten und das Know-how hätten. In der Hinsicht wäre Aurubis oder ein anderer Rohstoffhändler Dienstleister, der den Unternehmen Dienstleistungen gegen Entgelt anbietet. Größere Unternehmen haben dagegen zum Teil eigene Abteilungen für den Rohstoffeinkauf, die dann eigenständig für die Lieferung und bei Bedarf auch die Preisabsicherung verantwortlich sind.

Sollten auf den Rohstoffmärkten aber Preissteigerungen eintreten und diese auch länger anhalten, werden sie früher oder später auch bei den rohstoffnachfragenden Unternehmen ankommen. Das ist dann der zweite Engpasskanal, der auch wahrscheinlicher ist als das Ausbleiben einer physischen Ver-

sorgung, das nur selten über vorübergehende Lieferverzögerungen hinausgehen dürfte. Kurzfristig müssen Unternehmen die Preissteigerungen entweder hinnehmen oder sich dagegen absichern, mittel- bis langfristig haben sie aber weitere Möglichkeiten, um darauf zu reagieren. Im ungünstigsten Falle müssten sie ihre Produktion umstellen, sinnvoller wären aber Maßnahmen zur Erhöhung der Rohstoffeffizienz und ggf. auch der Substitution einzelner Rohstoffe.

Bedacht werden sollte aber, dass Unternehmen, die Rohstoffe einsetzen, daraus Produkte herstellen, um Umsätze und Gewinne zu generieren. Der Rohstoffbezug und die damit verbundenen Bezugskonditionen stellen daher immer auch ein unternehmerisches Risiko dar. Es ist aber nicht die Aufgabe des Staates, diese Risiken zu übernehmen, etwa durch eine staatliche Lagerhaltung oder gar eine staatlich alimentierte Rohstoffförderung. Gleichwohl gibt es seitens der Rohstoffpolitik eine Vielzahl von sinnvollen Maßnahmen, die umgesetzt werden könnten, auf die in Abschnitt 5 eingegangen wird.

Unternehmen wie Aurubis oder auch Umicore sind aber nicht nur Rohstoffhändler, sondern gehören vor allem auch zu den größten Recyclern in Europa. Sie bieten also nicht nur Primärrohstoffe an, sondern auch Sekundärrohstoffe. In der Hinsicht spielen sie eine zentrale Mittlerrolle für die Rohstoffversorgung in der Zukunft, da sie ein Bindeglied zu den internationalen Primärrohstoffmärkten, zugleich aber auch den im Sinne der Schließung von Stoffkreisläufen aufstrebenden Sekundärrohstoffmärkten sind. Die beste Möglichkeit, sich von Importrohstoffen unabhängiger zu machen, ist nämlich die Etablierung effizienter Recyclingketten, angefangen von recyclingfähigeren Produktdesigns, über die Bereitstellung von Sekundärmaterialien aus End-of-Life-Produkten für das Recycling bis hin zur Verbesserung der Recyclingtechnologien, den Aufbau von Recyclingkapazitäten und schließlich die Herstellung und den Einsatz von Sekundärrohstoffen (siehe auch dazu die entsprechenden Empfehlungen in Abs. 5).

Sekundärrohstoffe haben allerdings nicht die Funktion, eine Rohstoffversorgung zu gewährleisten, die von den Weltmarktpreisen abgekoppelt ist. Zwar sind sie zum Teil günstiger zu beziehen als Primärrohstoffe, das liegt allerdings dann meist daran, dass es qualitative Einschränkungen gibt. Grundsätzlich sind aber die Weltmarktpreise der Primärmaterialien die Grundlage für die Preisfindung auf den Sekundärrohstoffmärkten. Es hat im Zeitverlauf sogar eine stärkere bis vollständige Angleichung der Preise gegeben, was damit zusammenhängt, dass Sekundärrohstoffe qualitativ hochwertiger geworden sind oder sogar die Qualität der Primärrohstoffe erreichen. Allerdings führen Sekundärrohstoffe zu einer Erhöhung der Angebotsmenge bei dem jeweiligen Rohstoff, was für den Fall, dass die Mengen fühlbar sind, auch einen preisdämpfenden Effekt in Hinblick auf die Weltmarktpreise ausüben wird.

Bis dahin wird es bei vielen Rohstoffen aber noch einiger Zeit bedürfen, und zwar alle Teile der Recyclingkette betreffend, der sowohl von Wissenschaft, Wirtschaft und Politik zu beschreiten sein wird. Bis auf Weiteres wird NRW daher noch für

längere Zeit auf den Import metallischer Primärrohstoffe angewiesen sein. Steigende Rohstoffpreise würden die Entwicklung hin zu einer stärkeren Etablierung einer Kreislaufwirtschaft allerdings beschleunigen, auch wenn dies für die von den Preissteigerungen betroffenen Unternehmen mit Herausforderungen verbunden ist. Bei heimisch geförderten Rohstoffen wird man vermutlich sogar auf lange Sicht auf eine Primärförderung angewiesen bleiben, hier bestehen aber auch bessere Zugriffsmöglichkeiten, um die Versorgung sicherzustellen, während der Einfluss von NRW auf die internationale Handelspolitik bestenfalls indirekter Natur ist.

Welche Primärrohstoffe sind aber in Hinblick auf die künftige Versorgung besonders relevant und welche NRW-Schlüsselindustrien sind davon in erster Linie betroffen? Zunächst einmal ist es sinnvoll, sich dazu noch einmal die grundlegenden Trends im Primärrohstoffbereich in NRW zu vergegenwärtigen, die es dabei zu beachten gilt:

- Die NRW-Wirtschaft dürfte sich bis 2035 demografisch bedingt verhalten entwickeln und die Industrie insgesamt bestenfalls stagnieren, was sich dämpfend auf den Rohstoffbedarf auswirken wird.
- Das RWI rechnet in seiner Langfristprognose für NRW bis 2035 damit, dass die Elektronik- und Elektroindustrie stärker und der Maschinenbau leicht wachsen wird, die Automobilindustrie stagniert und die Chemische, die Stahl- und die Kunststoffindustrie moderat schrumpfen werden.
- Die Rohstoffintensität hat in der NRW-Industrie im Zeitablauf bereits kontinuierlich ab- bzw. die Rohstoffproduktivität entsprechend zugenommen, was sich auch künftig fortsetzen oder sogar beschleunigen dürfte.
- Daraus wird aber nicht nur eine Verminderung des auf die Wertschöpfung bezogenen Rohstoffeinsatzes resultieren, sondern aufgrund betrieblicher und regulatorischer Maßnahmen auch eine Erhöhung der Rohstoffeffizienz.
- Hinzu kommt, dass perspektivisch der Anteil des Primärrohstoffeinsatzes am gesamten Rohstoffeinsatz sinken wird, da der Anteil des Einsatzes von Sekundärrohstoffen künftig deutlich steigen dürfte.
- Dies alles wird auf Dauer dazu beitragen, dass die (physischen) Rohstoffimporte sinken werden, während sich die heimische Rohstoffförderung aufgrund des Rückstaus beim Wohnungsbau und den Infrastrukturinvestitionen voraussichtlich nicht spürbar zurückfahren lässt.
- Dem insgesamt sinkenden Rohstoffimport steht aber der zunehmende Bedarf bei einigen (risikobehafteten) Rohstoffen gegenüber, der sich aus dem erwarteten Bedeutungszuwachs von Zukunftstechnologien ergibt.
- Diese Zukunftstechnologien stehen häufig im Zusammenhang mit der Etablierung von übergeordneten Trends wie der Elektrifizierung der Antriebe, der Dekarbonisierung,

der Umsetzung der Energiewende oder der Digitalisierung und Automatisierung der gesamten Wirtschaft.

Besonders risikobehaftet sind Rohstoffe insbesondere dann, wenn die folgende Voraussetzung mehr oder weniger zeitgleich eintreten (siehe dazu auch den Abs. 3.3):

- ein dynamischer weltweiter Nachfrageanstieg,
- wenige und politisch instabile Förderländer und
- eine geringe Substituierbarkeit der Rohstoffe.

Betroffen sind davon vor allem die Automobilindustrie (u.a. durch die Elektrifizierung der Antriebe), der Maschinenbau (Energiewende) sowie die Elektronik- und Elektroindustrie (Digitalisierung und Automatisierung, Dekarbonisierung der Wirtschaft), da sie als NRW-Schlüsselindustrien Zukunftstechnologien umsetzen und etablieren müssen, woraus sich zusätzliche Bedarfe risikobehafteter Rohstoffe ergeben. Zwar sind die Automobil- und Elektronikindustrie (weniger die Elektroindustrie) in NRW unterrepräsentiert, was in geringeren Umsatz- und Wertschöpfungsanteilen als im Bundesdurchschnitt zum Ausdruck kommt, der technologische Anpassungs- und der daraus resultierende Rohstoffbeschaffungsbedarf innerhalb dieser Industrien ist deshalb aber nicht weniger kritisch.

Die Chemische Industrie hat dagegen eher mit dem Umstand zu tun, dass die gerade in NRW sehr bedeutende Grundstoffproduktion im Bereich der organischen Chemie energetisch transformiert werden muss, was für sich genommen schon eine Herkulesaufgabe ist. Zudem steht die Chemische Industrie aber auch aufgrund der immer restriktiver werdenden Grenzwerte seitens des EU-Chemikalienrechts massiv unter Druck. Auch die NRW-Metallindustrie hat sich zwei besonders großen Herausforderungen zu stellen: Zum einen muss auch sie die energetische Basis transformieren, da sie die Stahlproduktion perspektivisch von Koks- und Kohle auf grüne Wasserstofftechnologien umstellen muss, zum anderen ist sie von den – zurzeit verstärkt zu beobachtenden – Rohstoffpreissteigerungen unmittelbar betroffen, da sie maßgeblich auch als Zulieferindustrie für andere Schlüsseltechnologien fungiert, indem sie die metallischen Rohstoffe weiterverarbeitet. Immerhin hat sie aber den Vorteil, Preissteigerungen bei Rohstoffen bis zu einem gewissen Grad weitergeben zu können.

Nicht so betroffen ist die Metallindustrie dagegen von einigen der risikobehafteten Rohstoffe, die für Zukunftstechnologien zusätzlich benötigt werden, da deren Verhüttung meist nicht in Deutschland erfolgt. Das bedeutet, dass diese Rohstoffe dann direkt von den Unternehmen beschafft werden müssen, die sie einsetzen. Das betrifft beispielsweise Batteriehersteller für Lithium-Ionen-Batterien, die künftig vermehrt von der Automobilindustrie für Elektroautos benötigt werden. Hierin werden gleich mehrere risikobehaftete Rohstoffe verbaut, für die die zuvor genannten Kriterien vorliegen, u.a. die klassischen Batterierohstoffe (Lithium, Nickel, Kobalt, Mangan, Graphit) und einige der Massenrohstoffe (z.B. Aluminium, Eisen, Kupfer).

Die Automobilindustrie benötigt im Zusammenhang mit der Elektromobilität aber auch noch eine zweite Gruppe von risikobehafteten Metallen, nämlich Seltenerdenmetalle, da in Elektromotoren auch Permanentmagnete enthalten sind. Darüber hinaus sind Seltenerdenmetalle aber auch für viele weitere Anwendungen relevant, wie z.B. im Maschinenbau (etwa für die Erstellung von Windkraftanlagen).

Die Entwicklung einzelner Industrien und Zukunftstechnologien sowie der daraus resultierende Rohstoffbedarf lässt sich daher auch nicht mit Sicherheit voraussagen. Dennoch zeichnen sich einige Trends schon heute ab, die mit einer hohen Wahrscheinlichkeit künftig eine Rolle spielen dürften. Die Auswertungen der Außenhandelsstatistik zu den Einfuhren risikobehafteter Rohstoffe nach Deutschland und NRW (siehe dazu auch den Abs. 3.3) sowie der Struktur der NRW-Schlüsselindustrien im Vergleich zu der in Deutschland insgesamt wie auch der heimischen Rohstoffförderung (siehe dazu auch den nachfolgenden Abs. 3.5) geben einigen Aufschluss darüber, wie stark die NRW-Industrie von den künftigen Entwicklungen auf den Rohstoffmärkten und hier speziell bei risikobehafteten Rohstoffen betroffen sein dürfte. Aus den Ergebnissen der vorgenommenen Analysen lassen sich daher die folgenden Schlussfolgerungen ableiten:

- Bei etwa einem Drittel der insgesamt 35 risikobehaftete Rohstoffe weist NRW Anteile an den gesamtdeutschen Ausfuhren auf, die zum Teil weit über dessen Anteil an der Beschäftigung oder Wertschöpfung in Deutschland hinausgehen. Dazu gehören alle Massenrohstoffe (Aluminium, Blei, Kupfer, Titan und Zink), aber auch bedeutende Batterierohstoffe (Graphit, Kobalt, Mangan und Nickel) und andere Rohstoffe, die auch für einige Zukunftstechnologien relevant sind (Antimon, Chrom, Magnesium, Molybdän und Zinn). Der Hintergrund dafür ist die große Bedeutung der NRW-Metallindustrie für die Raffinade bzw. Verhüttung von metallischen Rohstoffen. Insofern wird NRW auch künftig ein Faktor in Hinblick auf die Weiterverarbeitung von risikobehafteten Importrohstoffen sein und auf diesem Wege auch zwangsläufig bei der Entwicklung und Etablierung von Zukunftstechnologien. Allerdings haben die Auswertungen auch gezeigt, dass bei vielen dieser Rohstoffe zum einen die Einfuhren nach Deutschland, zum anderen aber auch die Anteile von NRW daran rückläufig waren, was heißt, dass die Bedeutung dieser Rohstoffe für die NRW-Industrie rückläufig ist.
- Bei vielen risikobehafteten Rohstoffen ist aber auch zu beobachten, dass Einfuhren nach NRW praktisch gar keine Rolle spielen. Dies hängt zum Teil damit zusammen, dass deren Verhüttung in Deutschland mangels entsprechender Kapazitäten nicht möglich ist, sodass die Metallindustrie damit nicht konfrontiert wird. Allerdings müssten dann andere Industrien diese Rohstoffe nachfragen, die sie für bestimmte Technologien bzw. Produktionsprozesse benötigen. Auffällig ist, dass NRW bei einigen unter Technologieaspekten betrachtet wirtschaftsstrategisch sehr bedeutenden Metallen praktisch kaum Einfuhren aufweist, wie z.B. den Platingruppenmetallen,

Gallium, Germanium, Gold, Lithium, Tantal oder Vanadium. Bei den Seltenerdenmetallen, Indium, Silber, Silizium und Wolfram sind die Anteile zwar deutlich höher (im zweistelligen Prozentbereich), aber immer noch unterproportional hoch. Insgesamt deutet dieser Befund darauf hin, dass NRW bei den Technologien, die diese Rohstoffe erfordern, unterdurchschnittlich präsent ist.

- Erklärbar ist das zum Teil durch die in NRW vorherrschende Industriestruktur. Die Metallindustrie stellt hier den wichtigsten Industriebereich dar, gefolgt von der Chemischen Industrie. Beide NRW-Schlüsselindustrien weisen deutlich höhere Umsatz- bzw. Wertschöpfungsanteile auf als das für den Bundesdurchschnitt der Fall ist. Bei der Chemischen Industrie kommt hinzu, dass der Anteil der organischen Grundstoffindustrie vergleichsweise hoch ist. Weder für die Stahl- noch die Chemische Industrie spielen aber rohstoffintensive (Zukunfts-)Technologien eine herausragende Rolle. Die Elektronik- und vor allem die Automobilindustrie sind in NRW dagegen eher schwach vertreten. In Hinblick auf die Versorgung mit risikobehafteten Rohstoffen bzw. das Auftreten eventueller Versorgungslücken ist das zwar von Vorteil, allerdings offenbart dies auch, dass NRW in Technologiebereichen, die künftig wirtschaftlich interessant werden, Schwächen aufweist (zu diesem Befund kommen auch andere Studien; RWI 2020). Insofern wäre es eine sinnvolle Strategie, die Rohstoffpolitik (siehe dazu auch den Abschnitt 5) eng mit der Technologieförderpolitik zu verzahnen.

Der Anteil des Werts der gesamten deutschen Einfuhren von mineralischen Rohstoffen am gesamtwirtschaftlichen Produktionswert lag 2019, wie zuvor schon gezeigt, bei nur 1,3%. Aussagekräftiger ist aber der Anteil an der Industrieproduktion, denn Importrohstoffe werden fast ausschließlich in der Industrie eingesetzt. Dieser lag bei durchschnittlich 3,7% des Produktionswerts im Verarbeitenden Gewerbe. Der Einfuhrwert der 35 risikobehaftete Rohstoffe lag 2020, gemessen an den Auswertungen der Außenhandelsstatistik, bei gut 41 Mrd. €, was 2,0% des Produktionswerts der Industrie entspricht. In NRW betrug der entsprechende Importwert knapp 10 Mrd. €, das entsprach 24% der deutschen Einfuhren und 3,4% der Industrieproduktion von NRW.

Gemessen daran, dass die Schlüsselindustrien mindestens 40%, teilweise sogar bis zu 55% ihres Produktionswerts für den Materialeinsatz aufwenden, spielen die Kosten für Rohstoffe zwar eine wichtige, aber auch keine so zentrale Rolle, wie häufig vermutet. Demnach entfällt weniger als ein Zehntel des Materialeinsatzes auf Importrohstoffe. Die tatsächlichen Kosten, die die Industrie für die Erstellung ihrer Produkte für importierte Primärrohstoffe aufwenden muss, dürfte niedriger sein, da mengenmäßig etwa die Hälfte der Metalle und vier Fünftel des Einfuhrwerts wieder ausgeführt wird.

Angesichts dieser Relationen sollte die Bedeutung des Rohstoffthemas nicht überzeichnet werden, man darf es aufgrund der teilweise heftigen Preisausschläge auf den internationalen Rohstoffmärkten, der mitunter unsicheren Versorgungslage

sowie vor allem der großen Relevanz vieler Rohstoffe für die Etablierung von Technologien und die Erstellung von Produkten aber auch nicht unterschätzen. Zu bedenken ist, dass es sich bei den genannten Relationen um Durchschnittswerte handelt. Das bedeutet, dass es Industriebereiche und vor allem auch Unternehmen gibt, die deutlich höhere Anteile ihres Produktionswerts für den Einsatz von Rohstoffen aufwenden müssen. Vor allem für Unternehmen, die eine niedrige Gewinnquote und zugleich hohe Anteile von risikobehafteten Rohstoffen an ihren Materialkosten aufweisen, können durch Rohstoffpreissteigerungen existenziell gefährdet werden.

Inwieweit sich hieraus ein politischer Handlungsbedarf ableiten lässt, um diesen Industrien bzw. Unternehmen zu helfen oder bestimmte Rohstoffe betreffend zu intervenieren, um z.B. ausufernde Preissteigerungen einzudämmen, ist eine andere Frage. Diese ist vor dem Hintergrund zu beantworten, dass rohstoffintensive Industrien bzw. Unternehmen ohnehin schon von politischen Maßnahmen der allgemeinen Rohstoffpolitik profitieren (siehe dazu auch den Abs. 5).

3.5 Förderung und Bedarf heimischer Primärrohstoffe

Gesamtwirtschaftliche Bedeutung der Förderung heimischer mineralischer Primärrohstoffe

Aus Tabelle 3.5.1 geht die Rangordnung der Förderländer in Bezug auf die heimische Förderung mineralischer Rohstoffe, die Raffinadeproduktion sowie die Reserven und Ressourcen im weltweiten Vergleich hervor. Die Summation aus diesen vier Kriterien ergibt die Gesamtpunktzahl (Summe), die für die jeweilige Platzierung in diesem Länderranking maßgebend ist. Sie gibt Aufschluss darüber, wie bedeutsam ein Land in Hinblick auf die globale Rohstoffversorgung ist.

Sowohl bei der Bergbauförderung und der Raffinadeproduktion wie auch bei der Gesamtpunktzahl liegt China auf Platz 1. Brasilien, Australien, Russland und die USA folgen im Gesamtranking auf den Plätzen 2 bis 5. Interessanterweise weist Australien die größten Ressourcen auf, gefolgt von den südamerikanischen Ländern Brasilien und Chile. China rangiert hier nur auf Rang 6, direkt vor den USA. Die Ressourcenschätzungen sind allerdings nicht ganz einfach, da hierfür auch entsprechende Angaben der Förderländer notwendig sind, insofern können diese unter- oder überschätzt sein.

Tab. 3.5.1: Rangordnung der Förderländer mineralischer Rohstoffe im weltweiten Vergleich

Land	Bergbau- förderung	Raffinade- produktion	Reserven	Ressourcen	Summe	Rang
China	1	1	2	6	10	1
Brasilien	3	7	3	2	15	2
Australien	2	13	1	1	17	3
Russland	4	4	5	4	17	3
USA	6	5	6	7	24	5
Kanada	9	11	7	5	32	6
Indien	10	2	10	13	35	7
Südafrika	8	14	9	8	39	8
Chile	5	30	4	3	42	9
Indonesien	12	10	12	12	46	10
Mexiko	11	17	11	10	49	11
Türkei	15	9	15	15	54	12
Peru	7	37	8	9	61	13
Kasachstan	13	21	14	14	62	14
Ukraine	18	16	16	16	66	15
Iran	17	12	17	21	67	16
Polen	28	25	20	19	92	17
Deutschland	33	8	29	32	102	18
Schweden	24	34	22	22	102	18
Philippinen	19	49	19	17	104	20
Sambia	20	51	18	18	107	21
Kongo	14	85	13	11	123	22
Weißrussland	27	56	21	20	124	23
Spanien	37	19	42	38	136	24
Neukaledonien	35	36	33	33	137	25

Eigene Darstellung nach Angaben von BGR (2019).

Deutschland liegt zusammen mit Schweden auf Rang 18, einen Rang hinter Polen. Neben diesen drei Ländern ist von den EU-Staaten nur Spanien (Rang 24) unter den hier ausgewiesenen Top-25 gerankt. Während Deutschland bei der Rohstoffförderung nur auf Rang 33 geführt wird, liegt es bei der Raffinadeproduktion auf Rang 8. Daraus geht hervor, dass NRW für die Platzierung Deutschlands eine große Bedeutung

hat, da hier die Raffinadeproduktion einen hohen Anteil einnimmt, die sich aus der herausgehobenen Relevanz seiner Metallindustrie ableitet.

Für die heimische Förderung mineralischer Primärrohstoffe ist der Wirtschaftszeit „Gewinnung von Steinen und Erden, sonstiger Bergbau“ sowie die Erbringung von Dienstleistungen

hierfür verantwortlich. Der Anteil der SV-Beschäftigten, der darauf entfällt, liegt in Deutschland bei 0,14% aller SV-Beschäftigten. Der Produktionswert des Sektors lag in Deutschland im Jahr 2017 laut der Input-Output-Tabelle des Statistischen Bundesamtes für Deutschland bei 15 Mrd. €, das entspricht 0,25% des gesamtdeutschen Produktionswerts.

Davon wurden 93% im Inland als Vorleistungen verbraucht und 9% exportiert (die Differenz zu 100% in Höhe von 2% wurde durch den Abbau von Lagerbeständen ausgeglichen). Von den Vorleistungen wiederum wurden 17% innerhalb des Sektors „Steine und Erden und sonstiger Bergbau“ verbraucht, was zeigt, dass ein Teil der gefördert Rohstoffe vom Sektor selber aufbereitet bzw. weiterverarbeitet wird. Der Produktionswert des Wirtschaftszweigs spiegelt daher auch nicht den Wert der heimischen Förderung wieder, da hierin bereits eine zusätzliche Wertschöpfung durch die Weiterverarbeitung enthalten ist. Weitere 18% der Vorleistungen werden in der Keramik- und 15% in der Bauindustrie eingesetzt. Wichtigster Abnehmer ist mit 43% der Vorleistungen aber die Chemische Industrie, die vor allem Salze zur Kunststoff- und Düngemittelherstellung nachfragt. 1% entfällt zur Speisesalzerstellung auf die Herstellung von Nahrungsmitteln.

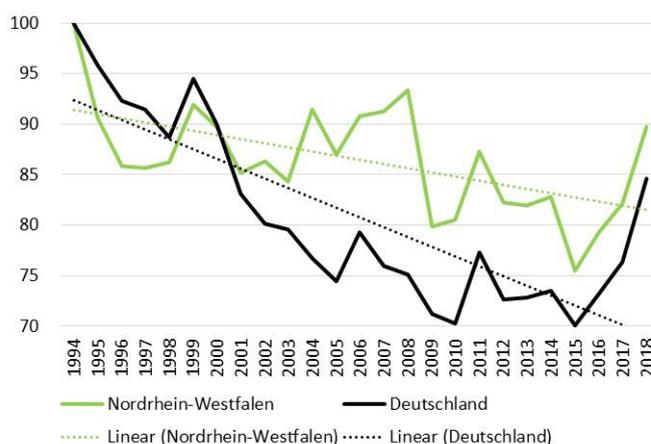
Der Produktionswert, der die Förderung mineralischer Rohstoffe in Deutschland beziffert, also den reinen Wert der Rohstoffe ohne Aufbereitung, lag der Studie „Heimische mineralische Rohstoffe – unverzichtbar für Deutschland!“ zufolge 2015 bei 7,2 Mrd. € (Elsner et al. 2017: 70) und wurde für 2016 in der BGR-Präsentation „Rohstoffgewinnung in Deutschland 2016“ mit 6,8 Mrd. € angegeben (Elsner 2017: 2). Die Produktionsstatistik für Deutschland geht von einem noch deutlich niedrigeren Produktionswert aus (4,3 Mrd. €), bei dem Ranking in Tabelle 3.5.1 werden sogar nur 3 Mrd. US-\$ veranschlagt. Demnach ist davon auszugehen, dass nicht einmal die Hälfte des in der Input-Output-Tabelle ausgewiesenen Produktionswerts der Branche „Steine und Erden und sonstiger Bergbau“ auf den reinen Wert der Rohstoffe zurückzuführen ist, der somit bestenfalls 0,1% des gesamtwirtschaftlichen Produktionswerts entsprechen dürfte.

Deutschlandweit sind rund 4 Tsd. Ton-, Kies- und Sandgruben sowie Steinbrüche und Baggerseen in Produktion, zudem 30 Bergwerke (Elsner et al. 2017: 70). Der Produktionswert der heimischen mineralischen Primärrohstoffe verteilt sich dabei wie folgt (Elsner 2017: 2): auf Steine und Erden (Kies und Sand, gebrochene Natursteine, Kalk-, Mergel- und Dolomitstein, Kreide, Tone und Lehme, Gips- und Anhydritstein, vulkanische Lockergesteine, Naturwerksteine, Dachschiefer, Eisenerze und Farberden) ein Produktionswert von 4,2 Mrd. €, auf Industriemineralien (Stein-, Kali- und Magnesiumsalze, Meersalz, Industriesole (Siedesalz), Kaolin, Bentonit, Spezialtone, Quarz, Quarzsand und -kies, Kieselgur, Kieselerde, Formsand, Klebsand, Feldspat, Pegmatitsand, Flussspat, Schwerspat, Graphit, Schwefel und Bauxit) von 2,5 Mrd. € und auf Torf von 0,15 Mrd. €; der Produktionswert, der auf die Gewinnung von Metallen entfällt (Kupfer, Silber und Gold), wird mit nur 3 Mill. € beziffert. Die Förderung von Metallen spielt

somit in Deutschland so gut wie keine Rolle, sodass die Importabhängigkeit bezogen auf die Versorgung mit metallischen Primärrohstoffen bei nahezu 100% liegt.

Die Entwicklung der heimischen Förderung mineralischer Primärrohstoffe wird in Abbildung 3.5.1 veranschaulicht. Schon bei der Entwicklung der physischen Importe mineralischer Rohstoffe ist ein rückläufiger Trend zu erkennen, dies zeigt sich aber auch bei der Förderung heimischer mineralischer Rohstoffe. Zusammengenommen erklärt dies auch den rückläufigen Trend bei der Rohstoffintensität. Der tendenzielle Rückgang der heimischen Förderung ist dabei im Bundesdurchschnitt etwas ausgeprägter als in NRW. Die Entwicklung verläuft naturgemäß unter starken Schwankungen, wobei der jüngste Anstieg seit 2015 in erster Linie mit dem Boom der Bauindustrie zusammenhängen dürfte.

Abb. 3.5.1: Förderung mineralischer Rohstoffe in Deutschland und in NRW



in physischen Einheiten (Tonnen); 1994 = 100

Eigene Darstellung und Berechnungen nach Angaben von UGRdL (2020).

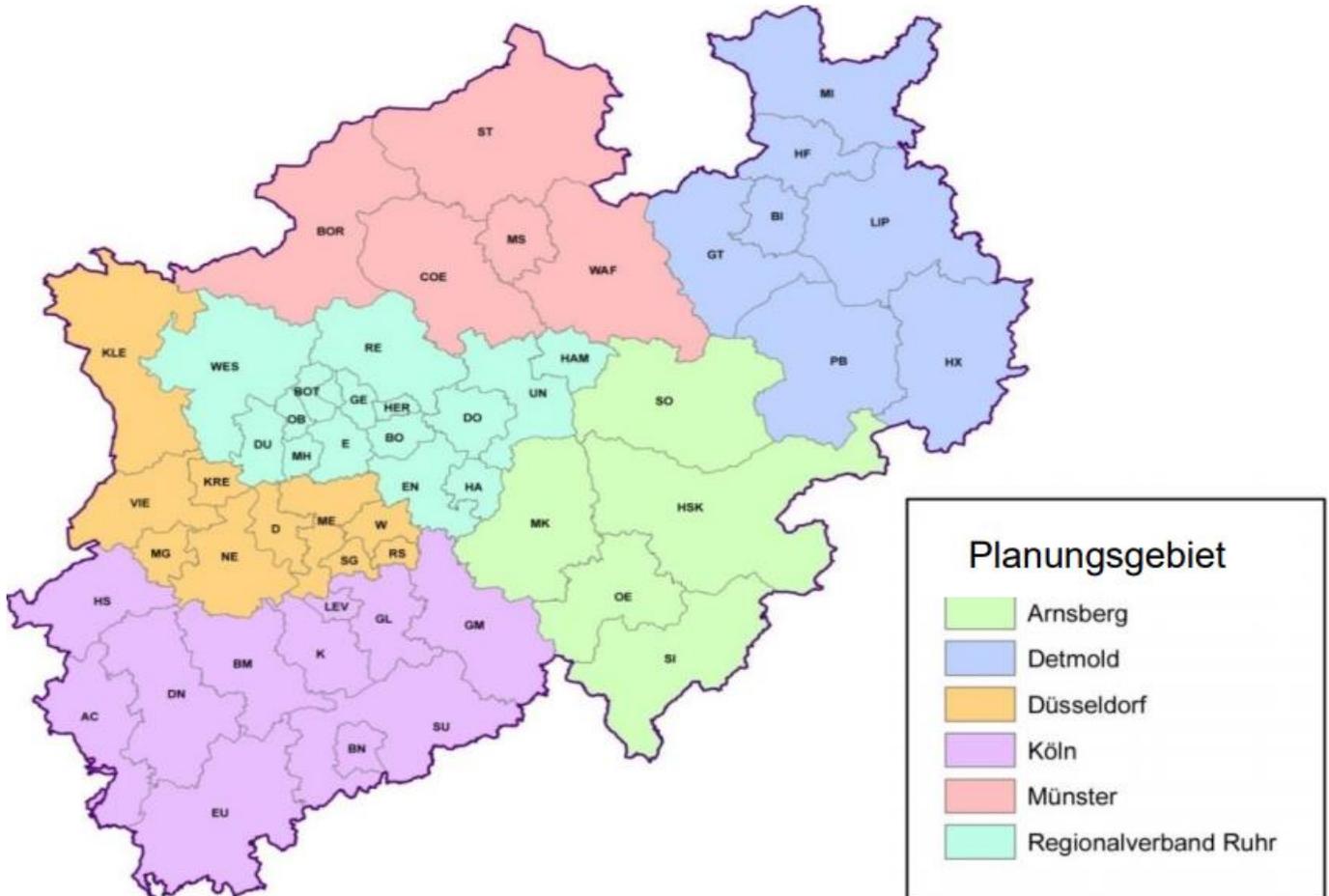
Der Anteil an den SV-Beschäftigten, der in NRW auf den Wirtschaftszweig „Gewinnung von Steinen und Erden und sonstiger Bergbau“ und die Erbringung von Dienstleistungen dafür entfällt, ist mit 0,13% etwas niedriger als im Bundesdurchschnitt (0,14%). NRW baut mit 4 Tsd. Tonnen pro km² Fläche zwar doppelt so viele Rohstoffe ab wie im Bundesdurchschnitt (2 Tsd. Tonnen), pro Einwohner mit 7,5 Tonnen aber etwas weniger als im Bund (8,5 Tonnen). Der geringere Beschäftigungsanteil hängt mit dem hohen Anteil der Chemischen Industrie an der Nachfrage nach heimisch gefördert Rohstoffen zusammen, der sich insbesondere aus der hohen Salznachfrage ergibt. Zwar gibt es in NRW am Niederrhein oder im Münsterland bedeutende Salzlagerstätten, dabei handelt es sich aber ausschließlich um Stein- und Siedesalzvorkommen. Kalisalzvorkommen, die für die Düngemittelherstellung von großer Bedeutung sind, gibt es dagegen in NRW keine. Da einige andere Bundesländer über ergiebige Kalisalzlagerstätten verfügen und Deutschland daher einer der bedeutendsten Kalisalzproduzenten der Welt ist, erklärt dies den leicht unterproportionalen Beschäftigungsanteil von NRW.

Ergebnisse des Abgrabungsmonitorings für NRW

Der Geologische Dienst NRW führt seit 2012 im Auftrag der Landesplanungsbehörde in den Regionalplanungsgebieten des Landes ein luftbildgestütztes Abgrabungsmonitoring für

Lockergesteine durch. Dazu werden jährliche Monitoringberichte für die einzelnen Regionalplanungsgebiete erstellt und im Internet veröffentlicht. Die Abgrenzung dieser Regionalplanungsgebiete geht aus Abbildung 3.5.2 hervor.

Abb. 3.5.2: Regionalplanungsgebiete in NRW



Staatskanzlei des Landes Nordrhein-Westfalen – Landesplanungsbehörde (2016: 8). – Für das Regionalplanungsgebiet Arnsberg lassen sich aus Datenschutzgründen keine Ergebnisse ausweisen. Es entspricht dem Regierungsbezirk Arnsberg ohne den Ennepe-Ruhr-Kreis und den Kreis Unna sowie die kreisfreien Städte Bochum, Dortmund, Hagen, Hamm und Herne, die dem Regionalverband Ruhr (RV Ruhr) zugeschlagen werden. Das Regionalplanungsgebiet Düsseldorf entspricht dem Regierungsbezirk Düsseldorf ohne den Kreis Wesel sowie die kreisfreien Städte Duisburg, Essen, Mülheim und Oberhausen, die ebenfalls dem RV Ruhr zugeschlagen werden. Der Regierungsbezirk Münster stellt ohne den Kreis Recklinghausen sowie die kreisfreien Städte Bottrop und Gelsenkirchen, die auch dem RVR zugeschlagen werden, das Landesplanungsgebiet Münster dar. Der RV Ruhr besteht aus den zuvor bereits genannten Kreisen und kreisfreien Städte der Regierungsbezirke Arnsberg, Düsseldorf und Münster, die diesem zugeschlagen werden.

Das Ziel des Abgrabungsmonitorings ist insbesondere die Sicherstellung einer bedarfsgerechten Flächenbereitstellung sowie die Abbildung der Flächeninanspruchnahme und der Fördermengen der bedeutendsten heimisch geförderten mineralischen Primärrohstoffe in den verschiedenen Regionalplanungsgebieten. Bei dem Monitoring für Lockergesteine werden die Abbaufortschritte in den genehmigten Abgrabungsstellen anhand von Luftbildzeitreihen flächenmäßig erfasst und zur Berechnung der Rohstoffmengen mit der Rohstoffkarte von NRW sowie den planerisch gesicherten Rohstoffversorgungsflächen verschnitten. Auch für Festgesteine wird derzeit ein landesweites Abgrabungsmonitoring mit einer daran angepassten Methodik – u.a. dem Einsatz stereoskopischer dreidimensionaler Auswertungen von Luftbildern – entwickelt.

Erste Ergebnisse werden voraussichtlich in ein bis zwei Jahren öffentlich zugänglich sein.

Die Rohstoffkarte NRW (im Maßstab von 1:50.000), die für die Lockergesteine Kies und Kiessand, Sand sowie Ton und Schluff, aber auch schon für Festgesteine verfügbar ist, beruht auf Untersuchungen der Vorkommen und ist eine wichtige Planungsgrundlage für die Rohstoffgewinnung. Aus der Verschneidung verschiedener Informationen (geologische Daten, Bohrergebnisse, Luftbildaufnahmen usw.) werden Aussagen zu den planerisch noch zur Verfügung stehenden Restflächen bzw. zur jährlichen Flächeninanspruchnahme und zum Umfang der jährlichen Rohstoffgewinnung abgeleitet. Aus diesen gemittelten Werten zum Abgrabungsfortschritt werden dann die im Regionalplan noch gesicherten Versorgungszeiträume

der einzelnen Lockergesteine prognostisch berechnet. Die prognostizierten Ergebnisse werden sukzessive überprüft und in den veröffentlichten Monitoringberichten jährlich fortgeschrieben. Die Regionalplanungsbehörden prüfen dann anhand dieser Monitoringberichte die Fortschreibungserfordernisse; über die Fortschreibung der Regionalpläne entscheiden schließlich die regionalen Planungsträger (Regionalräte bzw. Verbandsversammlung beim RVR).

Die Flächeninanspruchnahme und die Förderung werden zusammenfassend in Tabelle 3.5.2 ausgewiesen. Die 37 Mill. m³

von verschiedenen Kiesen und Sanden bestimmter Körnungen, die in NRW zuletzt gefördert wurden (Stichtag: 1.1.2021), müssen korrespondierend mit dem spezifischen Gewicht mit dem Faktor 1,6 multipliziert werden, um die Fördermenge in Tonnen umzurechnen. Dies entspräche dann einer Förderung von etwa 60 Mill. Tonnen an Kies und Kiessand, Sand sowie Präquartärem Sand und Kies (Quarzsand und Quarzkies). Die Flächeninanspruchnahme ist gegenüber 2012 um 30% und gegenüber 2018 um 8% zurückgegangen, die Fördermenge um 18% bzw. 8% zurück.

Tab. 3.5.2: Flächeninanspruchnahme und Rohstoffjahresförderung in den Regionalplanungsgebieten in NRW¹

Stichtag	Flächeninanspruchnahme in ha/Jahr			Jahresförderung in Mill. m ³		
	1.1.2012	1.1.2018	1.1.2021	1.1.2012	1.1.2018	1.1.2021
Kies und Kiessand						
Detmold	25,0	25,0	24,0	2,5	2,8	2,7
Düsseldorf	92,0	62,0	52,7	12,6	8,8	7,2
Köln	73,0	57,8	54,0	13,7	12,2	12,6
Münster	3,3	-	-	0,5	-	-
RV Ruhr	83,6	44,0	43,0	10,7	7,0	7,0
Insgesamt	276,9	188,8	173,7	40,0	30,8	29,5
Sand²						
Detmold	10,0	10,0	7,0	1,1	1,1	0,8
Düsseldorf	-	-	-	-	-	-
Köln	-	-	-	-	-	-
Münster	13,3	9,0	8,2	1,4	0,9	0,7
RV Ruhr	12,0	5,5	6,2	2,7	0,6	0,6
Insgesamt	35,3	24,5	21,4	5,2	2,6	2,1
Ton und Schluff³						
Detmold	0,4	0,2	0,1	-	-	-
Düsseldorf	4,3	2,3	1,8	-	-	-
Köln	8,6	1,2	2,2	-	-	-
Münster	3,3	0,8	0,7	-	-	-
RV Ruhr	0,5	4,5	5,0	-	-	-
Insgesamt	17,1	9,0	9,8	-	-	-
Präquartäre Sande und Kiese⁴						
Detmold	-	-	-	-	-	-
Düsseldorf	-	0,5	0,8	-	0,1	0,1
Köln	-	17,2	11,1	-	3,7	2,3
Münster	-	3,5	3,2	-	0,5	0,5
RV Ruhr	-	8,9	11,4	-	2,6	2,7
Insgesamt	-	30,1	26,5	-	6,9	5,6
Insgesamt						
Detmold	35,4	35,2	31,1	3,6	3,4	3,5
Düsseldorf	96,3	64,8	55,3	12,6	8,9	7,3
Köln	81,6	76,2	67,3	13,7	15,9	14,9
Münster	19,9	13,3	12,1	1,9	1,4	1,2
RV Ruhr	96,1	62,9	65,6	13,4	10,2	10,3
Insgesamt	329,3	252,4	231,4	45,2	40,3	37,2

Eigene Darstellung nach Angaben von Staatskanzlei des Landes Nordrhein-Westfalen – Landesplanungsbehörde (2016) sowie Geologischer Dienst NRW (2021a, 2021b, 2021c, 2021d und 2021e). – ¹ Für Arnsberg können aus Datenschutzgründen keine Ergebnisse ausgewiesen werden. ² Für Düsseldorf und Köln können aus Datenschutzgründen keine Ergebnisse für Sand ausgewiesen werden. ³ Bei den Tonlagerstätten muss das Monitoring weiterentwickelt werden, um das abgebaute Volumen ermitteln zu können. ⁴ Für Detmold sowie für das Jahr 2012 können aus Datenschutzgründen keine Ergebnisse für Präquartäre Sande und Kiese ausgewiesen werden.

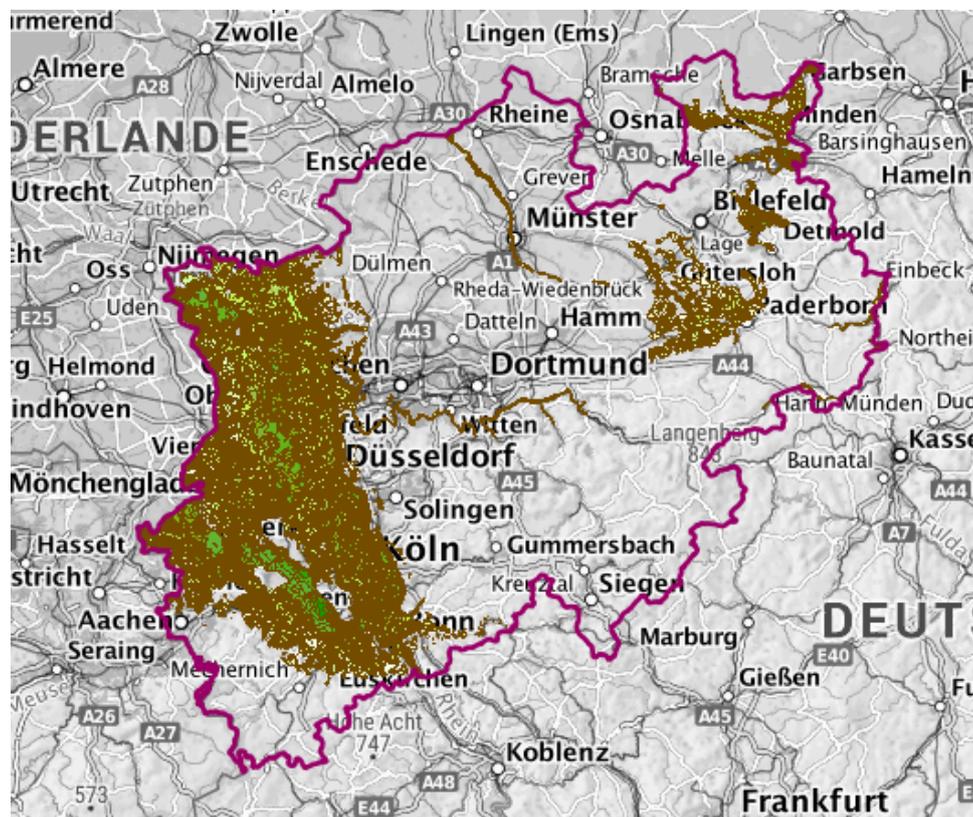
Lücken in der tabellarischen Zusammenfassung ergeben sich daraus, dass bei weniger als drei aktiven Gewinnungsstellen innerhalb einer Rohstoffgruppe im jeweiligen Planungsgebiet aus Gründen des betrieblichen Datenschutzes keine Daten im Monitoringbericht veröffentlicht werden, die Rückschlüsse auf betriebsbezogene Abgrabungsraten bzw. Produktionszahlen zuließen. Weiterhin kommen nicht alle Rohstoffe in allen Planungsbezirken vor, sodass für das Planungsgebiet Arnsberg z.B. aktuell kein Monitoringbericht zu Lockergesteinen veröffentlicht wird. Bei der Rohstoffgruppe Ton und Schluff macht der Geologische Dienst aktuell keine Angaben zur Jahresförderung und zur statistischen Reichweite mehr, da sich gezeigt hat, dass das Monitoring für diese im Trockenabbau gewonnenen Rohstoffe erst noch weiterentwickelt werden muss. Es wird daher künftig im Rahmen des Abgrabungsmonitorings für Festgesteine fortgesetzt. Aus Gründen des betrieblichen Datenschutzes macht das Abgrabungsmonitoring auch keine Aussage zu einzelnen Betriebsflächen, sondern bezieht sich jeweils auf das gesamte Planungsgebiet.

Das Abgrabungsmonitoring für Lockergesteine umfasst insoweit die tatsächliche Gewinnung nicht vollständig; dennoch lässt sich hierdurch – mit Ausnahme von Tonen – der Gesamtumfang und die regionale Verteilung der Flächeninanspruchnahme und des Fördervolumens bei den Lockergesteinen recht gut aufzeigen. Der Geologische Dienst NRW liefert darüber hinaus Daten zu den geologischen Randbedingungen sowie tektonischen, hydrogeologischen und bodenkundlichen Verhältnissen zur Erkundung von Lagerstätten und deren späterer Rekultivierung (Geologischer Dienst NRW 2011: 10).

Die Ergebnisse des Abgrabungsmonitorings zeigen, dass die im Landesentwicklungsplan NRW (LEP NRW) geforderten Mindestversorgungszeiträume durch die Regionalpläne in den einzelnen Rohstoffgruppen überwiegend abgedeckt sind und teilweise sogar deutlich darüber liegen. Einige Regionalpläne werden aktuell in laufenden Verfahren fortgeschrieben, um die geforderten Versorgungszeiträume wieder aufzufüllen (insbesondere im Gebiet des RV Ruhr sowie von Detmold und Köln). Bei Kies und Sand kommt dem Regionalplanungsgebiet Köln mit einem Anteil von etwa einem Drittel die größte Bedeutung zu. Mit einem Anteil von jeweils rund einem Viertel folgen die Regionalplanungsgebiete Düsseldorf und RV Ruhr, während Detmold, Münster und Arnsberg hier eine untergeordnete Bedeutung zukommt.

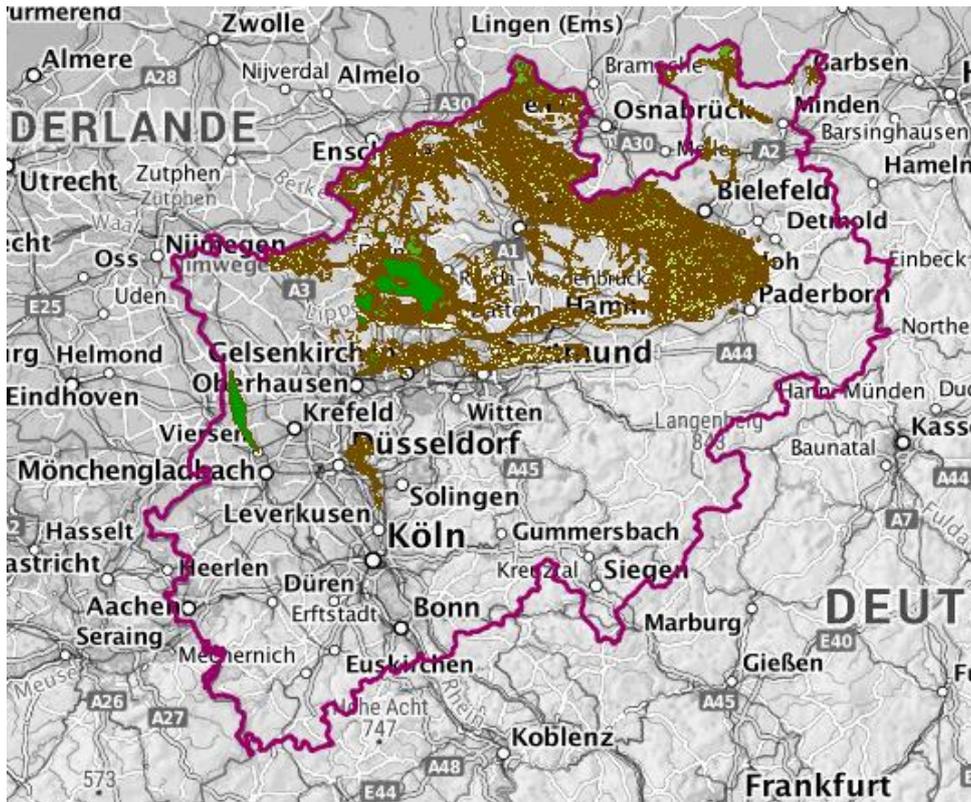
Abbildung 3.5.3 (Kies und Kiessand), Abbildung 3.5.4 (Sand) und Abb. 3.5.5 (Ton und Schluff) zeigen die Rohstoffvorkommen der Lockergesteine in NRW, Abbildung 3.5.6 die der Festgesteine. Die Karten, die ebenfalls auf der Rohstoffkarte NRW basieren, zeigen, dass NRW in der Fläche über regional gut verteilte Vorkommen verfügt. Kies und Kiessand kommen schwerpunktmäßig im Westen (Niederrheinische Bucht) und Nordosten (Münsterland und Wesertal) vor, Sand vor allem im mittleren Norden. Die Ton- und Schluffvorkommen erstrecken sich vom Nordosten bis zum Südwesten des Landes (Niederrheinische Bucht und Ostwestfalen). Während Karbonatgestein zwischen Dortmund und Paderborn vorkommt, konzentrieren sich Sandsteinvorkommen auf die Region im mittleren Süden (Bergisches Land und Sauerland) und Tonsteinvorkommen auf den Norden von NRW (Münsterland).

Abb. 3.5.3: Vorkommen der Lockergesteine Kies und Kiessand in NRW



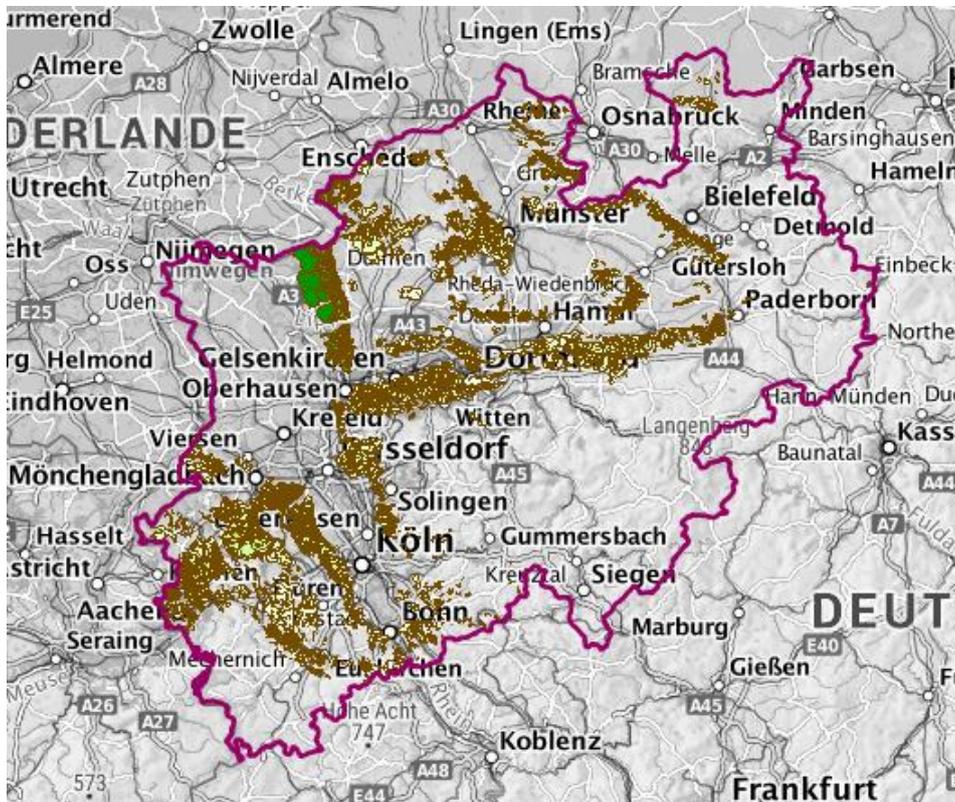
Rohstoffkarte von NRW für Lockergesteine im Maßstab 1:50.000 des GEOPortal.NRW des Geologischen Dienstes NRW (Abruf vom 23.5.2021).

Abb. 3.5.4: Vorkommen des Lockergesteins Sand in NRW



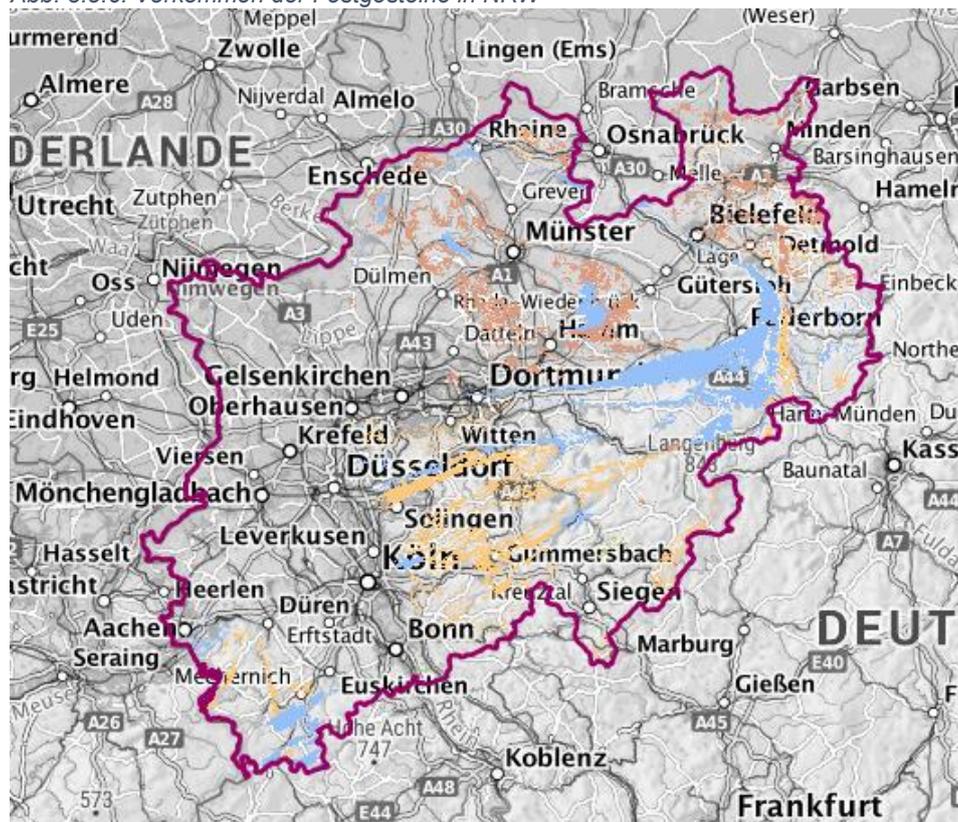
Rohstoffkarte von NRW für Lockergesteine im Maßstab 1:50.000 des GEOPortal.NRW des Geologischen Dienstes NRW (Abruf vom 23.5.2021).

Abb. 3.5.5: Vorkommen der Lockergesteine Ton und Schluff in NRW



Rohstoffkarte von NRW für Lockergesteine im Maßstab 1:50.000 des GEOPortal.NRW des Geologischen Dienstes NRW (Abruf vom 23.5.2021).

Abb. 3.5.6: Vorkommen der Festgesteine in NRW



Karbonatgestein = blau; Sandstein = beige; Tonstein = braun

Rohstoffkarte von NRW für Festgesteine im Maßstab 1:50.000 des GEOPortal.NRW des Geologischen Dienstes NRW (Abruf vom 23.5.2021).

Produktionswerte und Außenhandel der heimischen Rohstoffförderung in NRW

Laut dem Bericht „Rohstoffsicherung in Nordrhein-Westfalen“ (Ministerium für Wirtschaft, Mittelstand und Energie des Landes Nordrhein-Westfalen – Landesplanungsbehörde 2005) entfallen knapp 60% der heimischen Förderung in NRW auf Lockergesteine (2003 etwa 70 Mill. Tonnen) und gut 40% auf der Förderung auf Festgesteine (etwa 50 Mill. Tonnen). 2018 lag die Förderung mineralischer Rohstoffe in NRW laut Umweltökonomischer Gesamtrechnung bei 135 Mill. Tonnen.

Die Ergebnisse des Abgrabungsmonitorings zeigen, dass die Jahresförderung zuletzt zurückging (siehe dazu nochmals Tab. 3.5.2). Damit lag die Gesamtförderung bei den Lockergesteinen mit etwa 60 Mill. Tonnen – darunter auch 9 Mill. Tonnen Präquartäre Sande und Kiese, die in erster Linie die Förderung von Quarzsand und Quarzkies betreffen – knapp 15% unter dem Niveau von 2003.

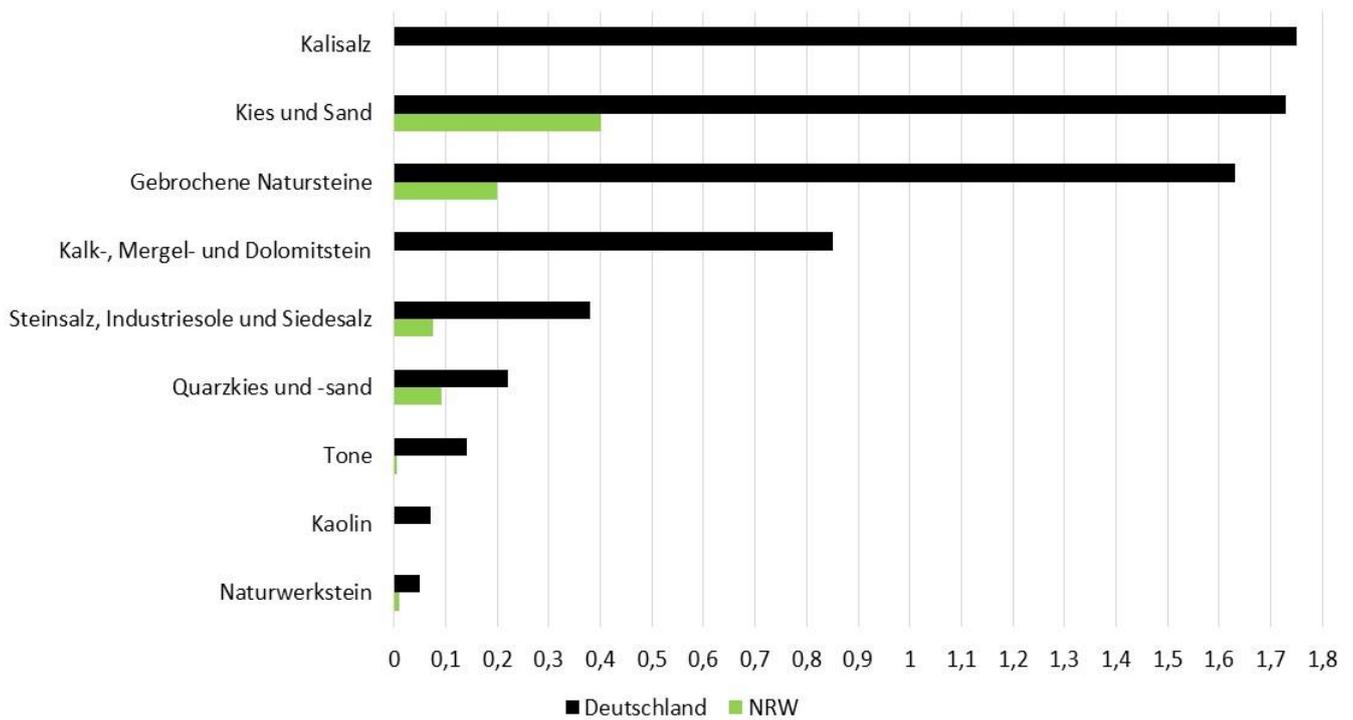
Der Wert der gut 40 Mill. Tonnen Kies und Sand beträgt etwa 0,4 Mrd. € (vero 2020: 29). Hinzu kommen Ton und Schluff (wozu das Abgrabungsmonitoring aber noch keine Angaben machen kann). Auf Spezialtone entfallen laut dem Bericht „Der Bergbau in der Bundesrepublik Deutschland“ knapp 0,2 Mill. Tonnen und auf Schiefer-ton 0,04 Mill. Tonnen (BMW 2018: 72f.). Darüber hinaus wurden in NRW rund 23 Mill. Tonnen Natursteine mit einem Wert von etwa 0,2 Mrd. € abgebaut (vero 2020: 30). Abbildung 3.5.7 weist die Produktionswerte

der in NRW geförderten Rohstoffe für NRW im Vergleich zu denen von Deutschland insgesamt aus. Dies vermittelt zumindest einen groben Überblick, worin die strukturellen Unterschiede der Rohstoffförderung in NRW in Relation zum Bundesdurchschnitt liegen, was letztendlich durch die unterschiedlich ausgeprägten geologischen Rohstoffvorkommen bedingt wird.

Die Flächeninanspruchnahme für den Abbau von Lockergesteinen lag zuletzt laut dem Abgrabungsmonitoring NRW bei nur noch 231 ha (knapp 0,007% der Gesamtfläche von NRW). Dabei handelt es sich aber um keine dauerhafte Flächennutzung, wie das etwa bei Siedlungs- oder Verkehrsflächen in der Regel der Fall ist. Zwar ist der Rohstoffabbau immer mit einem Eingriff in die Natur und damit auch mit Auswirkungen auf den Natur- und Wasserhaushalt verbunden, die Flächen werden nach dem Abbau der Vorkommen aber wieder rekultiviert bzw. renaturiert, woraus dann neue Landschaften und (mitunter auch sehr artenreiche) neue Naturräume entstehen.

Insofern muss mit einem Abbau von Rohstoffen nicht zwingend eine Verschlechterung der Bedingungen für den Naturschutz einhergehen. Auch das Landschaftsbild kann im Anschluss an die Nutzung der Flächen für den Rohstoffabbau bei entsprechender Gestaltung durchaus gewinnen und beispielsweise für diverse Freizeitaktivitäten nutzbar gemacht werden. Die Auswirkungen des Abbaus heimischer Rohstoffe sollten somit entsprechend differenziert betrachtet werden.

Abb. 3.5.7: Produktionswerte der in Deutschland und NRW geförderten Rohstoffe, in Mrd. €

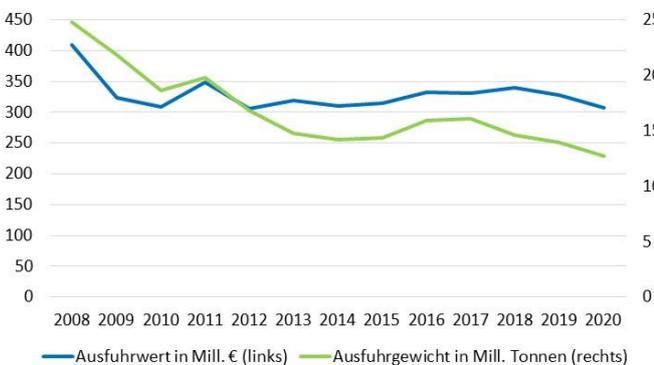


Eigene Darstellung und Berechnungen nach Angaben von BMWi (2018), EITI (2021), Geologischer Dienst NRW (2021a, 2021b, 2021c, 2021d und 2021e) und vero (2020).

In NRW gibt es bei dem transportkostensensiblen Kies und Sand in der Fläche (noch) kein Versorgungsproblem. Das lässt sich daran ablesen, dass sie auch ausgeführt werden. Laut Außenhandelsstatistik wurden 2020 an Kies und Sand sowie Ton und Kaolin 12 Mill. Tonnen für 0,15 Mrd. € ausgeführt, aber nur 2 Mill. Tonnen für 0,12 Mrd. € eingeführt (da es in NRW nur geringe Kaolinvorkommen gibt, beziehen sich diese Ausfuhren wohl vornehmlich auf Kies und Sand, die Einfuhren dagegen verstärkt auf Kaolin und Ton). Insgesamt wurden im Bereich Steine und Erden zuletzt 13 Mill. Tonnen für

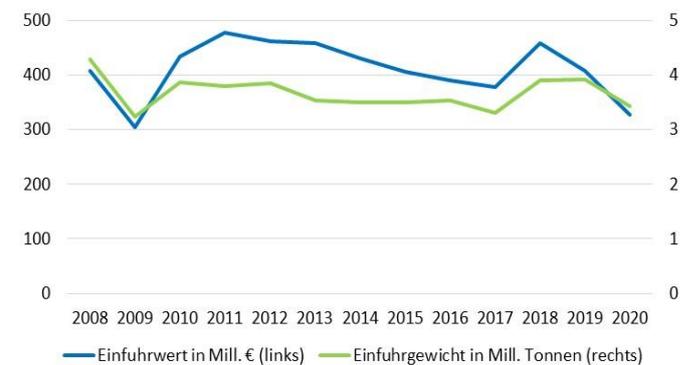
0,31 Mrd. € ausgeführt (Abb. 3.5.8) und 3 Mill. Tonnen für 0,33 Mrd. € eingeführt (Abb. 3.5.9). Insbesondere die Ausfuhrmengen gingen im Zeitverlauf aber recht deutlich zurück und haben sich 2020 im Vergleich zu 2008 annähernd halbiert. Der Anteil von NRW am gesamtdeutschen Ausfuhrwert war über die Zeit hinweg relativ konstant. 2008 lag er bei 27% und 2020 bei 25% (die Ausfuhrmenge ging von 49% auf 43% zurück). Ähnlich konstant war der Anteil von NRW am gesamtdeutschen Einfuhrwert, der von 27% in 2008 auf 24% in 2020 zurückging (die Einfuhrmenge von 18% auf 17%).

Abb. 3.5.8: Ausfuhren von NRW bei Steine und Erden



Eigene Darstellung und Berechnungen nach Angaben der Außenhandelsstatistik des Statistischen Bundesamts (Destatis 2021a).

Abb. 3.5.9: Einfuhren von NRW bei Steine und Erden



Eigene Darstellung und Berechnungen nach Angaben der Außenhandelsstatistik des Statistischen Bundesamts (Destatis 2021a).

Einsatz heimischer Rohstoffe in der Industrie

Von den heimisch gefördertem mineralischen Primärrohstoffen sind vor allem die Baurohstoffe und Salze sehr bedeutend. Es handelt sich dabei überwiegend um Steine und Erden oder Industriemineralien. Diese Rohstoffe unterscheiden sich gänzlich von den importierten, überwiegend metallischen Rohstoffen. Sie werden folglich auch schwerpunktmäßig in anderen Industrien eingesetzt, auch wenn es einige Überschneidungen gibt (Elsner et al. 2017):

- Bauindustrie (Kies und Sand als Baurohstoffe),
- Keramikindustrie (Tone u.a. für Ziegel und Fliesen),
- Metallindustrie (u.a. Quarzsand für Gussformen),
- Glasindustrie (Quarzsand zur Herstellung von Gläsern),
- Automobilindustrie (u.a. Schwerspat für Bremsbeläge),
- Elektroindustrie (u.a. Feldspat für die Elektrokeramik, Silizium aus Quarzkies z.B. für die Chipherstellung),
- Chemische Industrie (u.a. Chlorverbindungen aus Steinsalz in Kunststoffen und Medikamenten sowie Kalisalze zur Düngemittelherstellung für die Landwirtschaft),
- Kunststoffindustrie (Quarzsand zur Fertigung glasfaserverstärkter Kunststoffe wie Fiberglas),
- Lebensmittelindustrie (Steinsalz).

Feld- und Schwerspate sowie Kalisalze kommen in NRW zwar nicht vor, bei der Bereitstellung der genannten anderen heimischen Rohstoffe, die für die aufgeführten industriellen Anwendungsbereiche relevant sind, ist NRW aber bedeutend und hat hier teilweise sogar ausgewiesene Stärken:

- NRW weist bei mineralischen Rohstoffen einschließlich den Importen metallischer Rohstoffe zwar einen Importüberschuss auf (der sich zwischen 1994 und 2018 aber von knapp 10 Mill. auf knapp 5 Mill. Tonnen halbierte), gleichzeitig werden beim Intrahandel aber nach wie vor wesentlich mehr Rohstoffe an andere Bundesländer abgegeben als von diesen bezogen. Während die heimische Förderung von 151 Mill. auf 135 Mill. Tonnen zurückging, stieg der Versand in andere Bundesländer von 101 Mill. auf 107 Mill. Tonnen, gleichzeitig nahm aber auch der Empfang von anderen Bundesländern von 58 Mill. auf 95 Mill. Tonnen zu. Zwar sank der Saldo des Intrahandels von 43 Mill. auf nur noch 12 Mill. Tonnen, dennoch wird mengenmäßig von den heimisch gefördertem Rohstoffen immer noch mehr an andere Bundesländer oder das Ausland abgegeben als von dort an Rohstoffen bezogen.
- Bei Kies und Sand, Ton und Schluff sowie Festgesteinen verfügt NRW über regional gut verteilte und in der Fläche vor allem bei Kies und Sand ergiebige Vorkommen.

- Bei Spezialtonen entfallen zwar weniger als 3% der Gesamtförderung in Deutschland auf NRW, bei Schiefer-ton liegt der Anteil dagegen bei über 90% (eigene Berechnungen nach Angaben von BMWi 2018: 72f.). Auch in Bezug auf die Gewinnung von Kleb- und Formsand nimmt NRW eine führende Position ein. Die in NRW gefördertem Tone sind für ihre hohe Qualität bekannt und werden zum Teil sogar bis nach Bologna (Italien) exportiert, um im dortigen „Mekka der Fliesenherstellung“ verarbeitet zu werden.
- Quarzsande und -kiese gehören zu den Präquartären Sanden und Kiesen, wobei Quarzkiese sehr selten vorkommen. NRW ist in Deutschland der wichtigste Standort für die Quarzkiesförderung, insbesondere aufgrund der Vorkommen in Witterschlick bei Bonn, in der Kirchheller Heide bei Dorsten und in Frechen bei Wittlich in der Eifel (Elsner et al. 2017: 36ff.). Mit Hilfe von Quarzkies kann beispielsweise Silizium hergestellt werden (wie etwa im bayerischen Pocking). In Haltern befindet sich zudem das größte deutsche Quarzsandwerk (die Quarzwerke GmbH fördert 1,8 Mill. Tonnen Quarzsand pro Jahr). Die Qualität der NRW-Quarzsande ist mitverantwortlich für den guten internationalen Ruf der nordrhein-westfälischen Gießereindustrie, wobei Gießereiprodukte u.a. für die Wertschöpfungsketten in der Automobilindustrie und im Maschinenbau von Bedeutung sind. Haltern liefert darüber hinaus Quarzsand für die Glasindustrie im Ruhrgebiet.
- NRW hat auch in Bezug auf Stein- und Siedesalz bedeutende Vorkommen. Am Niederrhein befindet sich mit Borth das größte Stein- und Siedesalzbergwerk in Europa. Im nördlichen Münsterland wird bei Gronau-Epe durch die Salzgewinnungsgesellschaft Westfalen mbH Industriesole hergestellt (BMWi 2018: 47). 2016 wurden in NRW gut 3 Mill. Tonnen Steinsalz einschließlich Industriesole und Siedesalz gefördert (BMWi 2018: 66f.). Damit entfiel in diesem Bereich fast ein Viertel der Förderung in Deutschland auf NRW. Im Bergwerk Borth werden alleine – je nach Witterung – bis zu einer Mill. Tonnen Auftausalz für die NRW-Straßenmeistereien, 1,1 Mill. Tonnen Steinsalz und in dessen Saline 0,3 Mill. Tonnen Siedesalz gefördert (BGR 2016: 34).

Künftige Entwicklung des Bedarfs heimisch geförderter Baurohstoffe

Die künftige Nachfrage nach heimischen Rohstoffen hängt insbesondere mit der Entwicklung der Bauindustrie zusammen, da diese zum einen einer der größten Abnehmer ist. Zum anderen hängt auch die Nachfrage der Keramikindustrie, die gemessen am Wert der Rohstoffe laut der Input-Output-Tabelle ähnlich bedeutend in Hinblick auf den Bedarf heimisch geförderter Rohstoffe ist, ebenfalls maßgeblich mit der Entwicklung der Bauindustrie zusammen. Beispielsweise wird die Nachfrage nach Fliesen und Ziegeln unmittelbar von der Bautätigkeit getragen, insbesondere vom Wohnungsbau.

Das Baugewerbe unterteilt sich dabei in Hoch- und Tiefbau, wobei der Hochbau künftig möglicherweise schwächeln, der

Tiefbau aber weiter boomen dürfte. Zu den erbauten Objekten gehören u.a. der Neubau, die Instandsetzung, der An- und Umbau und die Errichtung von vorgefertigten Gebäuden oder Bauwerken auf dem Baugelände sowie provisorische Bauten, die Errichtung von Wohn-, Büro- und Geschäftsgebäuden, öffentlichen Gebäuden, Gebäuden der Versorgungswirtschaft, landwirtschaftlichen Gebäuden usw. sowie von Autobahnen, Straßen, Brücken, Tunneln, Bahnverkehrsstrecken, Rollbahnen, Häfen und anderen Wasserbauten, Bewässerungsanlagen, Kanalisationen, Industrie- und Sportanlagen usw.

Die Bauobjekte werden aber nur dann dem Baugewerbe zugerechnet, wenn sie zum späteren Verkauf stehen. Werden sie hingegen vom Bauherrn selbst genutzt, gehören sie zu den operativen Tätigkeiten und damit zum Wirtschaftszweig „Grundstück- und Wohnungswesen, Herstellung von Waren“ [WZ 2008]. Die Baubranche operiert dabei in drei strukturell sehr unterschiedlichen Geschäftsfeldern, und zwar dem Wohnungsbau, dem öffentlichen Nichtwohnungsbau und dem gewerblichen Nichtwohnungsbau. Um einen realistischen Eindruck über die künftige Entwicklung der Bauindustrie und dem damit einhergehenden Rohstoffbedarf zu bekommen, müssen diese Bereiche gesondert voneinander betrachtet werden.

Der Wohnungsbau macht zwei Drittel des Bauvolumens aus. In diesem Bereich hatten das günstige Finanzierungsumfeld und die strukturell hohe Nachfrage nach neuem Wohnraum, allen voran in den Städten, der Baubranche zuletzt Rekordumsätze beschert. Seit geraumer Zeit operieren die Unternehmen in diesem Segment an ihrer Kapazitätsgrenze, weiteres Wachstum lässt sich daher angebotsseitig nur noch durch den Aufbau neuer Kapazitäten erreichen (Boysen-Hogrefe et al. 2020). Auf der Nachfrageseite hängt die Entwicklung eng mit der Demografie und den Wanderungsbewegungen der Bevölkerung zusammen.

Laut Prognosen des Statistischen Bundesamtes dürfte sich der Höchststand der Bevölkerungszahl in Deutschland in der zweiten Hälfte des laufenden Jahrzehnts einstellen. Danach wird die Bevölkerung aller Voraussicht nach schrumpfen und mit ihr sukzessive auch der Bedarf an neuem Wohnraum. Die Bauindustrie profitierte zuletzt zum einen aber noch von einem Rückstau, da jahrzehntelang weniger gebaut wurde als die Nachfrage am Wohnungsmarkt eigentlich hergegeben hätte (Braun 2020). Der Abbau dieses Rückstands wird auch noch einige Zeit andauern und die demografische Entwicklung überlagern. Zum anderen steigen aber auch weiterhin die Ansprüche an die Wohnqualität und den Wohnraum, sodass zu erwarten ist, dass sich die Wohnfläche pro Kopf als auch der Wohnkomfort weiterhin erhöhen werden.

Ein Überhang ergibt sich aus der Differenz der bereits genehmigten, aber noch nicht fertiggestellten Wohnungen. Dieser lag 2019 bei 740 Tsd. Wohnungen (Zentralverband des Deutschen Baugewerbes 2020). Neben dem Nachfragetreiber (lokal) steigender Bevölkerungszahlen haben sich, wie erwähnt, die qualitativen Ansprüche an Wohnraum erhöht. Der Bestand an deutschen Wohnungen bietet der Wohnungsbaubranche dabei viele Möglichkeiten, die Qualität kurzfristig zu steigern,

um besser auf die Nachfrage einzugehen, beispielsweise durch nachträgliche Installation von Balkonen, veränderte Raumaufteilungen oder verbesserte Gebäudedämmung.

Alles in allem dürfte der Wohnungsbau somit noch für einige Jahre sehr dynamisch bleiben, bevor die entsprechenden Bauaktivitäten gegen Ende dieser Dekade voraussichtlich etwas abflachen werden. Impulse für den Wohnungsbau dürften auch das Bundeswohnungsbauprogramm, das vermutlich umgesetzt wird, und die zusätzlichen Wohnungsbaumaßnahmen auf der Länderebene mit sich bringen.

Der öffentliche Bau wies in den letzten fünf Jahren die höchsten Wachstumsraten auf. Das liegt zum Teil daran, dass sich zuvor ein erheblicher Investitionsrückstand aufgebaut hatte. Die Kommunen, auf die mehr als die Hälfte der öffentlichen Bautätigkeit entfällt, partizipierten nicht genug an den sprudelnden Steuergeldern, um die Investitionslücke schließen zu können. Auch wenn sich die Situation zuletzt etwas verbessert hatte, wird in der kommunalen Infrastruktur wohl auch weiterhin mehr abgeschrieben als investiert. Dieses Thema dürfte künftig noch eine größere politische Bedeutung bekommen und der Bund seine Investitionen weiter ausweiten.

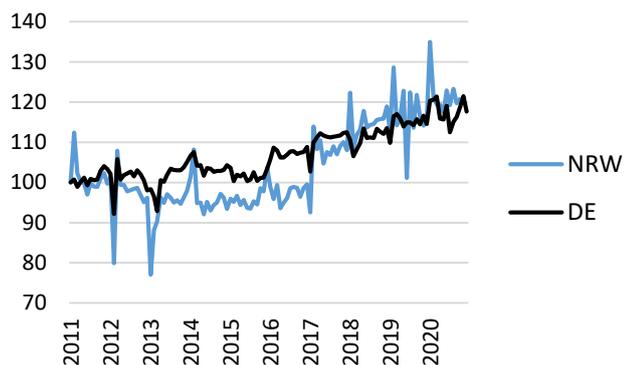
Die Dynamik beim Wirtschaftsbau wurde durch die Corona-Krise negativ tangiert. So waren zuletzt vor allem die Investitionen in Büroflächen und das Gastgewerbe gestiegen, die einstweilen an Attraktivität eingebüßt haben. Beim gewerblichen Bau sowie der Ausweisung neuer Gewerbeflächen ist die Situation aber auch unabhängig davon nicht unkritisch (unsichere konjunkturelle Lage, verstärktes Home-Office, sinkende Nachfrage nach Büroflächen usw.). Positive Impulse gehen dagegen auch weiterhin von Bauprojekten in Form des Baus großer Lagerflächen für den Internethandel aus.

Trotz der genannten Risikofaktoren dürfte in den kommenden Jahren aber die Entwicklung im Wirtschaftsbau insgesamt wieder positiver verlaufen. Neben den bereits beschriebenen Bereichen ist davon auszugehen, dass das Gastgewerbe weiteren Investitionsbedarf in Form der Schaffung von Übernachtungsmöglichkeiten haben wird, da sich Deutschland zuletzt einer stetig steigenden Beliebtheit als Reiseziel erfreute. Dieser Trend wird sich voraussichtlich fortsetzen.

Einer der größten Wachstumstreiber dürfte in den kommenden Jahren, wenn nicht Jahrzehnten, jedoch der Rückstau bei den Infrastrukturinvestitionen werden, etwa in Autobahnen, Straßen, Brücken, Tunneln, Bahnstrecken, Flug- und Schifffahrtshäfen oder Bewässerungs- und Kanalisationsanlagen. Prinzipiell ist der Ausblick sehr positiv, da es im Infrastrukturbereich einen extrem hohen Sanierungsbedarf gibt.

Sektorenübergreifend ergeben sich darüber hinaus erhebliche Entwicklungsmöglichkeiten aufgrund des erklärten Ziels, bis 2050 alle Gebäude in Deutschland in Hinblick auf Klimaneutralität zu sanieren. Die Entwicklung der Bauindustrie in NRW verlief dabei in den zurückliegenden fünf Jahren ähnlich dynamisch wie die in Deutschland insgesamt (Abb. 3.5.10), was wiederum auf eine ähnliche Branchenstruktur hindeutet.

Abb. 3.5.10: Entwicklung der Bauindustrie



2010 = 100, kalender- und saisonbereinigte Werte

Eigene Darstellung und Berechnungen nach Angaben der Deutschen Bundesbank.

Zusammengenommen ist bis zum Ende dieser Dekade von einer weiterhin sehr dynamischen Baukonjunktur auszugehen. Infrastrukturentwicklung und Wohnungsbau werden zu einer Fortsetzung des Baubooms führen, verbunden mit einer wachsenden Rohstoffnachfrage. Auch wenn sich die Dynamik im Zuge der demografischen Entwicklung zum Ende der 2020er-Jahre voraussichtlich etwas abschwächen dürfte, bleibt das Gesamtbild für die Bauindustrie auch langfristig positiv.

Künftige Entwicklung des Bedarfs heimisch geförderter Keramikrohstoffe

Die Keramische Industrie stellt einen weiteren wichtigen Abnehmer von Rohstoffen der Steine-und-Erden-Industrie dar, wobei sie eine recht vielfältige Branche ist (BKRI 2016). Einige ihrer Bereiche werden von der Fortsetzung des Baubooms profitieren, wie z.B. die Herstellung von Fliesen und Ziegeln. Die Wertschöpfung ist relativ hoch, es wird viel geforscht und es gibt einen intensiven internationalen Wettbewerb. Die Wachstumschancen hängen insbesondere von der Entwicklung des Wohnungs- und Gewerbebaus zusammen. Insofern wird insbesondere die Nachfrage nach Tonen steigen.

Bis 2035 ist daher bei Tonen von einer weiterhin relativ positiven Entwicklung auszugehen, auch wenn sich die Dynamik im Zuge der demografischen Entwicklung gegen Ende des laufenden Jahrzehnts voraussichtlich etwas abschwächen wird. Andere Bereiche der Keramischen Industrie werden sich dagegen deutlich verhaltener entwickeln oder teilweise stagnieren bzw. sogar zurückgehen. Hochspezialisierte Tone werden in NRW vor allem im Westerwald abgebaut.

Für die beiden wichtigsten sonstigen Rohstoffe der Keramischen Industrie, Kaolin und Feldspat für die Porzellanherstellung, von denen 2016 deutschlandweit 707 Tsd. bzw. 136 Tsd. Tonnen nachgefragt wurden (Elsner 2017: 16), sind daher keine wesentlichen Nachfragesteigerungen zu erwarten. Die Rohstoffförderung in NRW betrifft das ohnehin nur wenig, da hier die Kaolinvorkommen mit einem Anteil von nur

etwa 1% an der gesamten Förderung in Deutschland eine geringe und die Feldspatvorkommen praktisch keine Bedeutung haben.

Recycling bzw. Substitution von Bau- und Keramikrohstoffen

Die Recyclingquote von Bauabfällen liegt im Durchschnitt bereits heute bei über 80% (Kreislaufwirtschaft Bau 2021: 4). Beim Straßenbau werden sogar schon Recyclingquoten zwischen 90% und 95% erreicht. Die Recyclingmaterialien resultieren dabei vornehmlich aus Bauschutt, Straßenaufbruch und Baustellenabfällen. Von den daraus resultierenden Sekundärrohstoffen gelangen allerdings weniger als die Hälfte als Ersatzbaustoff für anspruchsvolle Einsatzbereiche im Hoch- und Tiefbau. Künftig sind daher beim Recycling von Baurohstoffen Verbesserungen hinsichtlich der Qualität der Sekundärrohstoffe erforderlich, damit diese in höherem Maße in qualitativ höherwertigen Anwendungen zum Einsatz kommen können.

Als Kenngröße ist die Substitutionsquote noch bedeutsamer als die Recyclingquote. Diese gibt an, wie hoch der Anteil am gesamten Baurohstoffbedarf ist, der durch Sekundärrohstoffe gedeckt werden kann. Sie liegt bei Steine-und-Erden-Rohstoffen derzeit bei etwa 14% (DIW und SST 2019: 48). Die im Vergleich zur Recyclingquote recht niedrige Rate hängt damit zusammen, dass meist nicht genügend Sekundärmaterialien aus dem Abbruch von Gebäuden und Infrastruktur zur Verfügung stehen. Beispielsweise werden erneuerungsbedürftige Straßen inzwischen aus Kostengründen nicht mehr ausgebagert, sondern lediglich neue Beläge über die bereits bestehenden gelegt, sodass hier nur vergleichsweise wenig Abraum anfällt. Vielfach erfüllen sie aber auch nicht die erforderlichen technischen Normen z.B. in Bezug auf die Körnung und weiterer Eigenschaften, sodass sie mitunter lediglich der Aufschüttung von Halden und Abgrabungen dienen können.

Wie sich die Substitutionsquote künftig entwickeln wird, hängt u.a. von der Entwicklung der Abfallmengen sowie der Recyclingfähigkeit der Baumaterialien und der Weiterentwicklung der Recyclingtechnologien ab. Es geht also nicht nur um eine weitere Erhöhung der Recyclingquote von Bauschutt und Bauabfällen, sondern vor allem um qualitative Verbesserungen.

2018 lag in NRW der Output der gut 300 Bauschuttanfertigungsanlagen bei knapp 14 Mill. Tonnen, was etwa einem Fünftel des gesamtdeutschen Aufkommens von 69 Mill. Tonnen entsprach (Destatis 2021b). Sollte es gelingen, die Aufbereitung künftig noch weiter zu verbessern, wäre es Schätzungen des Bundesumweltamts zufolge bis zur Mitte dieses Jahrhunderts möglich, rund ein Drittel der Nachfrage nach Kies und Sand durch Sekundärmaterialien zu decken und dadurch den Einsatz von Primärmaterialien entsprechend zu substituieren (Scheferling 2018).

Dies setzt aber weitere Forschungsanstrengungen voraus, die im Sinne *zirkulärer Designs* zu einer Erhöhung der Recyclingfähigkeit der in der Bauindustrie verwendeten Materialien und

einer Verbesserung der Recyclingtechnologien (z.B. durch Infrarotverfahren) führen, denn die Wiederverwertung von Bau- schutt und Bauabfällen ist derzeit noch zu aufwendig und qualitatativ weiter optimierbar.

In Bezug auf den Einsatz von Sekundärrohstoffen sind bei den Baurohstoffen perspektivisch also Verbesserungen zu erwarten, die Bauindustrie wird aber auch künftig in einem nicht unerheblichen Umfang auf Primärmaterialien angewiesen bleiben. Eine andere Möglichkeit, klassische Baurohstoffe wie z.B. Beton zu substituieren, ist aber der Einsatz von alternativen Baumaterialien. Diese können vor allem beim Bau von Häusern und Wohnungen verwendet werden. Bei diesen alternativen Baumaterialien handelt es sich beispielsweise um Holz, Lehm oder biobasierte Werkstoffe wie Stroh, Bambus oder Hanf (houz 2019).

Die künftige Nutzung alternativer Baumaterialien steht im Zusammenhang zur Entwicklung des Haus- und Wohnungsbaus, ihr Einsatz steigt allerdings nicht proportional. Maßgebend sind auch die Eigenschaften der alternativen Baumaterialien (z.B. in Bezug auf Witterungsbeständigkeit) und deren Preise in Relation zu denen der herkömmlichen Baumaterialien. Darüber hinaus wird die Nachfrage von den individuellen Präferenzen der Nachfrager beeinflusst.

Von erheblicher Relevanz in Hinblick auf die künftige Nachfrage nach alternativen Baumaterialien und die Preisdifferenzen zu den klassischen Baumaterialien wird vor allem die Forschung sein, da hierdurch die Einsatzmöglichkeiten dieser Materialien erweitert und neue Werkstoffe entwickelt werden können. Seitens der Landesregierung sollte diese Entwicklung daher durch eine entsprechend ausgerichtete Forschungsförderung flankiert und unterstützt werden.

Die künftige Nachfrage nach alternativen Baumaterialien wird aber auch durch die Verfolgung des Ziels, bis zum Jahr 2050 alle Gebäude in NRW in Hinblick auf die Erreichung von Klimaneutralität zu sanieren, beflügelt werden. Alternative Baumaterialien dürften daher in NRW perspektivisch an Bedeutung gewinnen, wobei es künftig noch zusätzliche alternative Werkstoffe und weitere Einsatzmöglichkeiten geben dürfte. Zu erwarten ist daher alles in allem, dass im Bereich des Haus- und Wohnungsbaus der Einsatz alternativer Baumaterialien im Vergleich zu dem der klassischen Baumaterialien überproportional steigen wird.

Ein Recycling ist bei Tonen, anders als bei den Baurohstoffen, schwierig. Das hängt damit zusammen, dass Tone mit anderen Stoffen gemischt und gebrannt werden, wodurch sie unwiederbringlich mit den anderen Stoffen verschmelzen. Es kann somit nur das Produkt als solches recycelt werden (z.B. Toilettenschüsseln), wobei die Sekundärmaterialien dann meist in anderen Bereichen verwertet werden. Die Recyclingquoten liegen daher nur bei 20-30% und werden auch nicht wesentlich gesteigert werden können, 70-80% der verarbeiteten Rohstoffe sind somit Primärmaterialien, die meist auch von den Nachfragern nach Tonen bevorzugt werden.

Transportwürdigkeit heimischer Rohstoffe

Die Nachfrage nach Kies und Sand, nach Tonen sowie nach Natur- und Kalksteinen wird daher angesichts der zu erwartenden Entwicklung der Bauindustrie unserer Ansicht nach weiter steigen, auch wenn DIW und SST (2019: 48) bei einem ähnlichen gesamtwirtschaftlichen Szenario (BIP-Wachstum von 0,8% p.a. gegenüber 0,9% p.a. bei uns) bis 2035 von einem Rückgang bei Steine und Erden von etwa 10% ausgehen. Zum einen ist bei den Steinen und Erden keine so ausgeprägte Entkopplung von Rohstoffeinsatz und Wachstum zu erwarten, da die Recyclingquoten bei Baurohstoffen schon hoch sind, zum anderen ist für die Nachfrage nach Baurohstoffen nicht so sehr die gesamtwirtschaftliche Entwicklung ausschlaggebend, sondern vor allem die der Bauindustrie.

Künftig könnten somit die Preise für Baurohstoffe wie Kies und Sand steigen, wenn eine zunehmende Nachfrage auf eine möglicherweise schwierig werdende Sicherstellung von Flächen für die Förderung heimischer Rohstoffe stößt. Diese Problematik wird noch dadurch erhöht, dass auch benachbarte Länder (wie z.B. die Benelux-Staaten) von Flächenversiegelungen sowie natur- und wasserschutzbedingten Einflüssen auf die heimische Rohstoffförderung betroffen sind. Unter ökonomischen Gesichtspunkten (steigende Transportkosten), aber auch aus Qualitäts- und Nachhaltigkeitsgründen (zunehmender Energieverbrauch) muss die Förderung der Rohstoffe aber möglichst vor Ort erfolgen. Besonders Kies und Sand sind niederwertige Infrastrukturrohstoffe, die aufgrund des hohen spezifischen Gewichts nach Möglichkeit nicht weiter als 50 km transportiert werden sollten.

Die durchschnittliche Entfernung beim Transport mit Lastkraftwagen, dem mit einem Anteil von über 80% am Transportaufkommen mit Abstand wichtigstem Transportmittel, liegt derzeit bei etwa 30 km (bbs 2018). Viele Kiesgruben befinden sich entlang des unteren Niederrheins, sodass auch die Binnenschifffahrt als Transportmittel etwa in den Benelux-Raum infrage kommt. So wurden beispielsweise im Jahr 2017 3,5 Mill. Tonnen Kies per Schiff in die Niederlande exportiert und damit gut ein Drittel von dessen Bedarf an Kies, Sand und Naturstein in Höhe von ca. 10 Mill. Tonnen gedeckt (Zukunft Niederrhein 2021). Der Verkehrsträgeranteil, der auf die Binnenschifffahrt entfällt, liegt aber unter 10% (bbs 2018). Außerdem stellt mitunter das Niedrigwasser des Rheins ein Problem dar.

Was den Bedarf an Salzen angeht, reichen die entsprechenden Bergbaukapazitäten von NRW schon heute nicht aus, um die Nachfrage der Chemischen Industrie nach Stein- und Siedesalz zu decken, Kalisalze kommen in NRW noch nicht einmal vor. Der künftige Salzbedarf der Chemischen Industrie wird von deren künftiger Entwicklung abhängen (siehe dazu auch den Abs. 3.4). Salze sind im Gegensatz beispielsweise zu Kies und Sand aber relativ gut transportierbar, sodass die Versorgung der heimischen Industrie problemlos auch durch Importe sichergestellt werden kann.

Spezialfall REA-Gips

Ein Problem, das besonders für NRW relevant werden wird, entsteht durch den Rückbau der Kohlekraftwerke, da hierdurch auch das Anfallen von REA-Gips wegbriecht, der bei **Rauchgasentschwefelungsanlagen** in Kohlekraftwerken entsteht. Derzeit fällt selbst bundesweit gesehen mehr REA-Gips an (6 Mill. Tonnen) als durch die Primärproduktion von Naturgips. Der Wegfall des REA-Gipses wird durch Naturgips aus primären Lagerstätten, durch Importe oder durch ein Recycling kompensiert werden müssen. Beim Recycling gibt es aber die Asbestproblematik, was den Sekundärrohstoffeinsatz einschränkt, zudem ist die Ergiebigkeit des Recyclings sehr unterschiedlich ausgeprägt.

Da es in NRW keine Naturgipsvorkommen gibt, muss der durch den Kohleausstieg wegfallende REA-Gips also weitgehend durch Importe kompensiert werden. Für den Fall, dass die Primärproduktion erhöht werden muss, müsste dann die dafür erforderliche Rohstoffgewinnung von anderen Bundesländern oder dem Ausland planerisch gesichert werden. Es stellt sich dann auch die Frage, ob der Rohstoff selber oder der verarbeitete Gips importiert wird und welche Qualitäten damit verbunden sind.

Da REA-Gips ca. 7% des Sekundärrohstoffanfalls im Bereich Steine und Erden ausmacht, wird sich dessen Wegfall auch entsprechend negativ auf die Substitutionsquote auswirken. Die Substitutionsquote dürfte daher Schätzungen zufolge bis zum Jahr 2035 auf dem derzeitigen Niveau von rund 14% verharren (DIW und SST 2019: 48).

4. Verstärkte Nutzung von Sekundärrohstoffen in den NRW-Schlüsselindustrien

In diesem Abschnitt wird aufgezeigt, welche pragmatischen Modelle, Ansätze und Parameter es zur Messung des Einsatzes von Sekundärrohstoffen gibt (z.B. Rezyklateinsatz- oder Substitutionsquote). Darüber hinaus wird diskutiert, wie die Nutzung von Sekundärrohstoffen und den damit verbundenen wirtschaftlichen Vorteilen erfasst werden kann. Darauf aufbau-

end werden Substituierbarkeit, Recycling und Recyclingpotenziale der in die Untersuchung einbezogenen Rohstoffe untersucht und die Rolle von Dissipation im Rahmen von Stoffkreisläufen beleuchtet. In den Absätzen wird jeweils auch die Relevanz der Erkenntnisse für NRW adressiert.

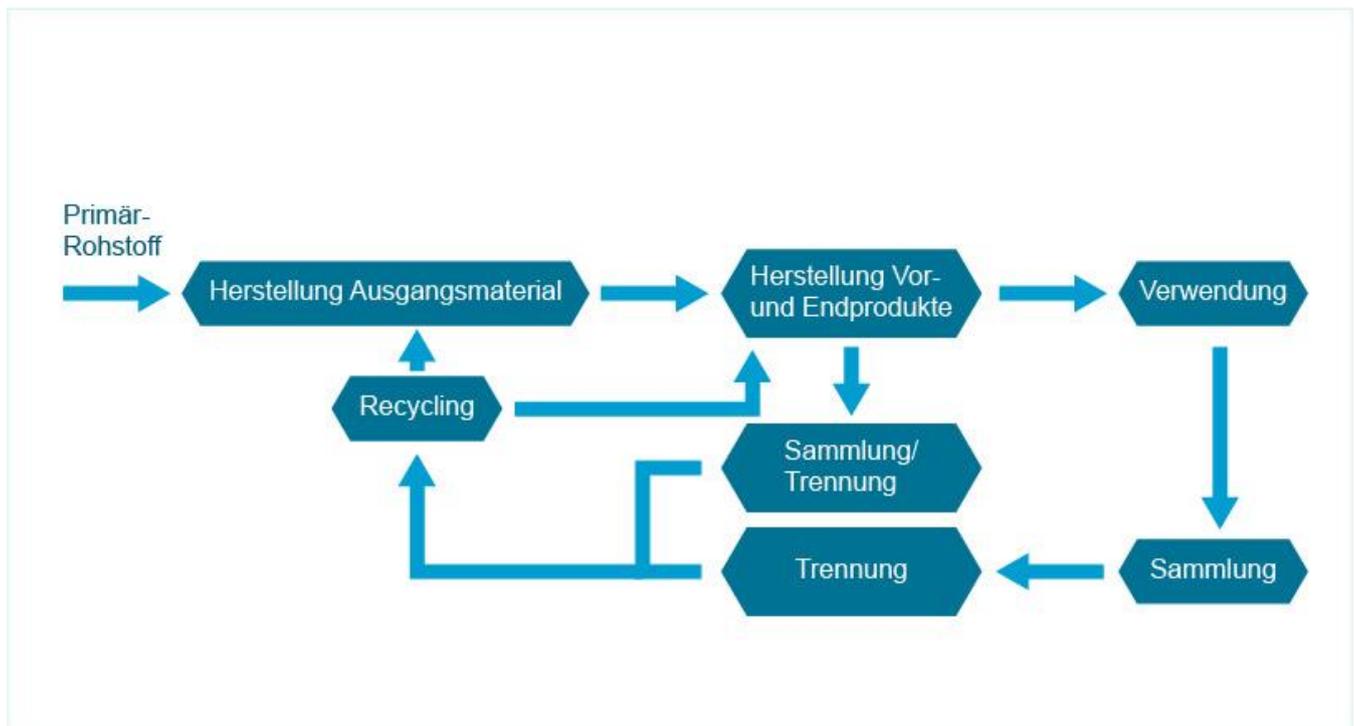
4.1 Die Circular Economy und Rohstoffnutzung

Ein Kreislaufwirtschaftssystem (*Circular Economy*) ist durch die Eliminierung – mindestens aber die Minimierung – von Ressourcenverschwendung und von Abfallströmen bei einer gleichzeitigen Wiederverwendung von Sekundärrohstoffen aus diesen Abfallströmen gekennzeichnet. Dieses Ziel wird mit einer Kombination unterschiedlicher Maßnahmen erreicht, wie der systematischen Wiederverwendung von Produkten, der Minimierung des Ressourcenverbrauchs und der Etablierung von effizienten Recyclingstrukturen. Dabei sollen insbesondere verbrauchte Produkte wieder in den Wirtschaftskreislauf zurückgeführt und die Entsorgung von Abfallprodukten in der Umwelt vermieden werden. Die Kreislaufwirtschaft steht als Konzept der traditionellen linearen Wirtschaft gegenüber, in der kein Fokus auf dem Verbrauch oder der Wiederverwertung von Rohstoffen liegt. Das Konzept selbst (wenn auch

nicht der Begriff) wird häufig auf Boulding (1966) zurückgeführt. In seinem Papier *The Economics of the Coming Space-ship Earth* modelliert er eine Entwicklung von einer Erde mit unbegrenzten Ressourcen aus der Vergangenheit hin zu einem begrenzten Ökosystem, das durch Begrenzungen in Hinblick auf die Belastbarkeit des Ökosystems und die Ressourcenverfügbarkeit gekennzeichnet ist.

Das Konzept der *Circular Economy* liegt allen Überlegungen zum Recycling von Rohstoffen zugrunde, die in jeweils unterschiedlichen Modellvorstellungen umgesetzt sind. Das Recycling soll sich dabei an ökonomischen Grundsätzen in Hinblick auf den Recyclingaufwand orientieren. Abbildung 4.1.1 zeigt eine stark vereinfachte Darstellung des Kreislaufmodells, wie es für das Rohstoffrecycling relevant ist.

Abb. 4.1.1: Vereinfachte Modellvorstellung einer Circular Economy bei der Rohstoffversorgung



Eigene Darstellung.

Primärrohstoffe fließen in die Herstellung des Ausgangsmaterials ein. Dieses findet entlang der Wertschöpfungskette bei

der Herstellung von Zwischen- und Endprodukten Verwendung. Im Anschluss an die Nutzung der Produkte durch Unternehmen und Haushalte werden in der Kreislaufwirtschaft die Abfälle als Wertstoffe gesammelt und fließen über die Trennung und das Recycling wieder in den Kreislauf zurück. In einem solchen geschlossenen Kreislauf reduziert sich der Primärrohstoffeinsatz im (theoretischen) Idealfall auf null.

Ein geschlossenes Kreislaufsystem ist allerdings nicht realisierbar, wenn zugleich eine wachsende Wirtschaft und Wohlstand angestrebt werden. Einerseits sind wirtschaftliche Aktivitäten immer mit Verlusten von Rohstoffen an die Umwelt verbunden, die wieder an einer anderen Stelle zu einem Primärrohstoffbedarf führen. Andererseits ist eine wachsende Wirtschaft an vielen Stellen auch mit einem erhöhten Rohstoffeinsatz verbunden. Zudem spielt beim Kreislaufgedanken auch die Verweildauer von Materialien in den verschiedenen Produktnutzungen eine Rolle. Die Dauer des Produktlebenszyklus bestimmt, wann Stoffe (spätestens) zurückgewonnen werden können.

In der Praxis ist eine Kreislaufwirtschaft darauf ausgerichtet, einen effizienten Primärrohstoffeinsatz bei gleichzeitiger Minimierung von Verlusten entlang der einzelnen Stationen des Kreislaufs zu erreichen und gleichzeitig ein optimales Recycling der gebrauchten Werkstoffe zu gewährleisten. Es geht in einer Kreislaufwirtschaft daher nicht darum, den Primärrohstoffeinsatz auf null zurückzuführen, vielmehr sollen Primär- und Sekundärrohstoffe im Wirtschaftskreislauf komplementär eingesetzt werden. Dissipative Verluste können nicht vollständig vermieden, sollen aber reduziert werden.

Dieser Grundsatz ist gerade für NRW als Bundesland von hoher Relevanz, in dem eine starke Industriestruktur einen zentralen Part in der Wertschöpfung spielt. Die *Circular Economy* bietet gerade als *zirkuläre Wertschöpfung* durch ihren industriepolitischen Innovationscharakter einerseits wichtige Chancen für die Kreierung neuer Wertschöpfung und die Verringerung der Abhängigkeit von Rohstoffimporten, andererseits sind mit den durch die EU und die Bundesregierung vorangetriebenen Schritten in Richtung einer Kreislaufwirtschaft auch Risiken für NRW-Unternehmen verbunden, da sich die Energie- und Rohstoffpreise dadurch erhöhen könnten.

4.2 Modellansätze zur Messung von Rohstoffsubstitution und Sekundärrohstoffeinsatz

Modellansätze

Um die Fortschritte bei der Umsetzung der *Circular Economy* sichtbar zu machen und untersuchen zu können, müssen geeignete Modelle und Ansätze herangezogen werden, die den Einsatz von Sekundärrohstoffen abbilden können. Die hierbei existierenden Ansätze basieren auf der grundlegenden Idee der *Circular Economy*. Je nach Zielsetzung der Untersuchung und Verfügbarkeit geeigneter Daten werden unterschiedliche Aspekte des Wertstoffkreislaufs hervorgehoben und mit entsprechenden Indikatoren hinterlegt.

Die Modellvorstellungen unterscheiden sich jeweils in Hinblick auf die abgebildeten Ströme und Prozesse und die Indikatoren, die jeweils in Hinblick auf die Beeinflussung des Kreislaufs gebildet werden. Abbildung 4.2.1 zeigt Charakteristika verschiedener Ansätze aus Studien, die sich mit der Frage des Sekundärrohstoffeinsatzes auseinandersetzen. Künftig wäre es sinnvoll, diese Modelle zudem um Primärrohstoffe zu erweitern, da hierdurch eine rohstoffliche Betrachtung und Bewertung entlang der gesamten Wertschöpfungskette möglich.

Abb. 4.2.1: Charakteristika unterschiedlicher Modellansätze zur Erfassung des Sekundärrohstoffeinsatzes

Zielsetzung der Studie	Verwendete Indikatoren
Europäische Kommission (2020a), Study on the EU's list of Critical Raw Materials 2020	
Hintergrundinformationen zur Liste kritischer Rohstoffe für die EU 2020.	End-of-Life Recycling Input Rate (EoL RIR)
Informationen über das Verfahren zur Risikoanalyse von Rohstoffen.	Substitution Index for Economic Importance (SI-EI)
Risikobewertung für 83 Rohstoffe.	Substitution Index for Supply Risk (SI-SR)
Tercero Espinoza und Soulier (2017), Defining regional recycling indicators for metals	
Erweiterung globaler Recyclingindikatoren auf die regionale Ebene unter Berücksichtigung offener Grenzen.	Old Scrap Ratio (OSR)
	Recycling-Input Rate (RIR)
	End-of-Life Recycling Rate (EoL RR, CR und PR)
	Overall Processing Rate (OPR)
	Overall Recycling Efficiency Rate (ORER)
Eurometaux und Eurofer (2012), Recycling Rates of Metals	
Überblick über valide und harmonisierte Ansätze zur Messung der Recyclingfähigkeit und des Recyclings. Die Ansätze sollen die Möglichkeit eröffnen, Potenziale zu identifizieren und das Erreichen gesetzlicher Zielvorgaben zu messen.	End-of-Life Recycling Rate (EoL RR, CR und PR)
	Overall Recycling Efficiency Rate (ORER)
	Recycling-Input Rate (RIR)
UNEP (2011a), Recycling Rates of Metals – A Status Report	
Statusreport der Arbeitsgruppe <i>Global Metal Flows</i> für das <i>International Resource Panel</i> . Überblick (Literaturauswertung) über den tatsächlichen Umfang des Recyclings für 60 Metalle.	Old Scrap Collection Rate (EoL CR)
	End-of-Life Recycling Rate (EoL RR)
	Old Scrap Ratio (OSR)
	Recycled Content (RC)
	Recycling Input Rate (RIR)
Reck et al. (2008), Anthropogenic Nickel Cycle: Insights into Use, Trade, and Recycling	
Materialflussanalyse zu Nutzung, Handel und Recycling von Nickel für 52 Länder, Territorien oder Ländergruppen, acht Regionen und weltweit.	End-of-Life Recycling Rate (EoL RR)

Eigene Darstellung.

Während die Studie des UN Environmental Program (UNEP 2011a) den Fokus auf das globale Metallrecycling legt, untersuchen die Studien der Europäischen Kommission (2020a) und der Metallverbände Eurometaux und Eurofer (2012) das Metallrecycling im europäischen Raum. Die Studie der Europäischen Kommission (2020a) erläutert den Aufbau sogenannter Fact Sheets für Rohstoffe, die als separate Dokumente im *Raw Material Information System*¹¹ der EU bereitgestellt werden.

Die Fact Sheets liefern anhand entsprechender Indikatoren für jeden der 83 berücksichtigten Rohstoffe einen Gesamtüberblick über den Markt, einschließlich den Substitutionsmöglichkeiten für den Rohstoff und einer Einschätzung darüber, ob es sich unter den Gesichtspunkten der politischen Stabilität des Förderlandes und der geologischen Verfügbarkeit aus Sicht der EU um einen risikobehafteten Rohstoff handelt.

Ein Beispiel für die Komplexität eines detaillierten Recyclingkreislaufs von der globalen Ebene bis zu einzelnen Regionen liefert z.B. die Untersuchung von Reck et al. (2008) für Nickel.

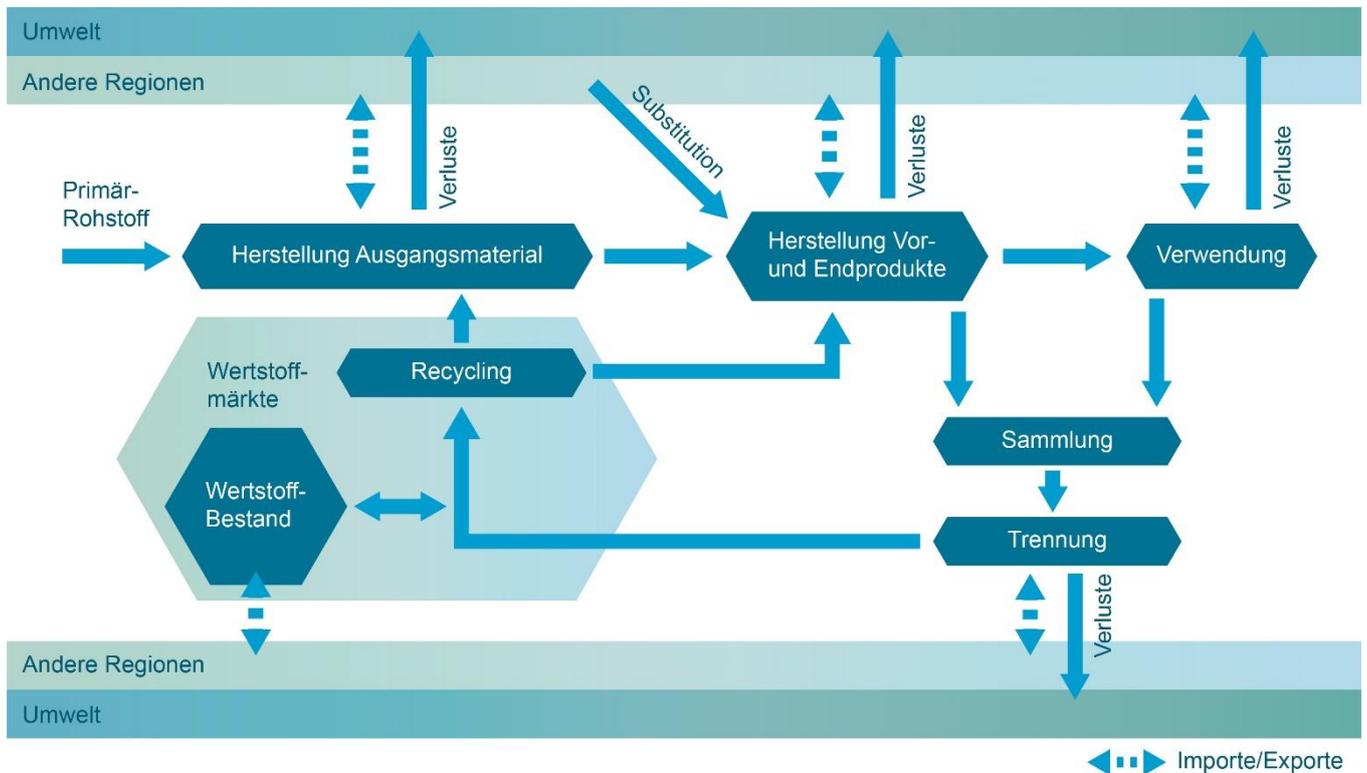
Die im Folgenden diskutierten Unterschiede sind im Zusammenhang mit den zugrundeliegenden Modellvorstellungen zu beobachten.

Abbildung relevanter Stoffströme zur Erfassung des Sekundärrohstoffeinsatzes

Zahlreiche Modellansätze sind ursprünglich entwickelt worden, um globale Recyclingzusammenhänge zu beschreiben. Für das Bundesland NRW sind demgegenüber gerade die regionalen und regionsübergreifenden Stoffströme und ihre Bedeutung von großem Interesse. Daher ist in unserem Zusammenhang die Studie von Tercero Espinoza und Soulier (2017) von hoher Relevanz. Die Autoren untersuchen in ihrer Studie die Frage, ob und inwieweit Modelle in Hinblick auf regionale Recyclingsysteme mit offenen Grenzen zu erweitern sind, da unterhalb der globalen Ebene zusätzliche (direkte und indirekte) Rohstoffströme durch die Ein- und Ausfuhr von Gütern das Ergebnis von Recyclingprozessen beeinflussen können. Aufbauend auf den Ergebnissen dieser Untersuchung können für die Schlüsselindustrien in NRW die relevanten Stoffströme für Abbildung und Erfassung des Sekundärrohstoffeinsatzes dargestellt werden (Abb. 4.2.2).

Im Kern steht die Darstellung des Rohstoffkreislaufs, dem das Konzept der *Circular Economy* zugrunde liegt: von den Primärrohstoffströmen über die Herstellung des Ausgangsmaterials, vom Produktionsbereich über die Verwendung, die Sammlung und das Sortieren bis hin zum Recycling von Wertstoffen.

Abb. 4.2.2: Relevante Stoffströme zur Abbildung des Sekundärrohstoffeinsatzes der Schlüsselindustrien in NRW



Eigene Darstellung, basierend auf Tercero Espinoza und Soulier (2017) sowie Dittrich et al. (2021).

¹¹ Factsheets für 2020 als PDF-Datei: op.europa.eu/de/publication-detail/-/publication/8dabb4c1-f894-11ea-991b-01aa75ed71a1 oder online je Rohstoff: rmis.jrc.ec.europa.eu/?page=rm-profiles#/.

Häufig gibt es bei der Herstellung von Ausgangsmaterialien, von Vor- und Endprodukten sowie bei der Verwendung der Endprodukte Materialverluste an die Umwelt. Diese können dissipativ sein, wenn sich die an die Umwelt abgegebenen Stoffe nicht zurückgewinnen lassen (z.B. beim Einsatz mineralischer Düngemittel, die vom Boden und den Pflanzen aufgenommen werden) oder sie treten auf, weil Rückgewinnungsverfahren im aktuellen Marktumfeld für einen Rohstoff (noch) nicht wirtschaftlich sind und Reststoffe daher deponiert oder vorläufig ungenutzt gelagert werden.

Im- und Exporte: Austausch mit anderen Regionen

Für das Recycling im regionalen Kontext sind darüber hinaus Rohstoffströme zu berücksichtigen, die durch den Warenaustausch mit anderen Regionen entstehen. Die Ein- und Ausfuhr von Gütern beschränkt sich hierbei nicht nur auf Endprodukte, sondern umfasst auch den Außenhandel mit Abfällen. Einerseits verlassen auf diese Weise Rohstoffe den Kreislauf, andererseits werden durch Importe zusätzliche Materialströme in den Kreislauf gebracht. Diese Importe und Exporte von Rohstoffen sind an unterschiedlichen Stellen bei der Erfassung und Bewertung des Recyclings zu berücksichtigen:

- Zunächst stellt der interregionale Austausch mit Rohstoffen kein grundsätzliches Problem für die Erreichung der Ziele einer *Circular Economy* dar. Recyclingprozesse sind in aller Regel durch *economies of scale* gekennzeichnet. Ein stark regional differenziertes Recycling von Rohstoffen ist somit ineffizient und mit einem überhöhten Aufwand verbunden, da die *economies of scale* in den Trenn- und Recyclingprozessen nicht realisiert werden können. Allerdings steigen mit einem weiteren Transport der Rohstoffe auch die Transportkosten. Somit ist im Zweifelsfall eine Abwägung zwischen diesen beiden Aspekten zu treffen, die je nach betrachtetem Rohstoff unterschiedlich ausfällt. Ländergrenzen sind für diese grundsätzliche Überlegung irrelevant. So kann es ökologisch gesehen sinnvoller sein, Recyclingmaterialien über die Grenze zu transportieren als einen längeren Transport innerhalb des Landes vorzunehmen.
- Die Problematik sieht bei internationalen Strömen von Gütern für das Recycling anders aus. Hier sind insbesondere die Exporte ins Nicht-EU-Ausland von Relevanz. Soweit es sich um illegale Exporte handelt, sind diese mit ordnungsrechtlichen Maßnahmen zu unterbinden. Aber auch bei legalen Exporten stellen sich Fragen. So werden einerseits in Deutschland nicht mehr verwendete Güter im Ausland weiter genutzt (ein Beispiel ist der Export von Kraftfahrzeugen nach Afrika). Andererseits sind die Standards beim Recycling in vielen Nicht-EU-Ländern geringer als in Deutschland, was zu einem Export der Umweltbelastung im Rahmen des Recyclings führt.
- Ein rein pragmatischer Aspekt ergibt sich in Hinblick auf die Indikatorenbildung (siehe unten). Die Rohstoffströme durch den Außenhandel haben Auswirkungen auf die

Höhe der aus den Materialströmen berechneten Indikatoren und müssen berücksichtigt werden, da es sonst zu verzerrten Ergebnissen kommt. Problematisch sind in diesem Zusammenhang nicht dokumentierte und/oder illegale Materialströme. Sie sind in der Regel nicht durch entsprechende Daten abzubilden und beeinträchtigen damit die Aussagekraft eines Indikators (Tercero Espinoza und Soulier, 2017).

Dissipation von Rohstoffen

Ein Element der Kreislaufidee ist es, die Dissipation von Rohstoffen aus den Kreisläufen zu verhindern, um damit Verluste zu minimieren. Bei einigen Nutzungen von Rohstoffen ist das von vorneherein nicht möglich, da die Nutzungen selbst schon mit der Dissipation der Rohstoffe in die Umwelt einhergehen. Die Dissipation von Rohstoffen aus den Produktionsprozessen wurde bereits in der Vergangenheit vielfach sehr weitgehend eingedämmt. Darüber hinaus bieten sich wichtige Ansatzpunkte, die eine Dissipation von Rohstoffen aus dem Kreislauf verhindern können:

- Die Verbesserung der Recyclingprozesse, die dazu führt, dass ein immer größerer Anteil der Rohstoffe der Wiederverwertung zugeführt werden kann.
- Die Optimierung der Haushaltstrennung wie auch der Sammel- und Trennsysteme.
- Das recyclinggerechte Design, das dazu führt, dass ein möglichst hoher Anteil der in den Produkten enthaltenen Rohstoffe in die Wiederverwertung gehen kann.

Ergänzend zur Betrachtung der kosten- und nutzenorientierten Effizienz muss zunehmend auch eine qualitative Effektivitätsbetrachtung vorgenommen werden. Unter zirkulären Gesichtspunkten kann es dabei notwendig sein, die Nutzung eines Produktes zu verkürzen, um die Werthaltigkeit der inkorporierten Werkstoffe zu erhalten. Die weitgehende Verhinderung der Dissipation von Rohstoffen ist jedoch mit hohen Kosten verbunden, sodass eine Abwägung erfolgen muss.

Konsequenzen für NRW

Die Gegenüberstellung unterschiedlicher Modelle einer Kreislaufwirtschaft zeigt, dass das Modell, das für die Analyse einer Kreislaufwirtschaft in NRW geeignet ist und Anwendung finden sollte, die Interdependenz mit anderen Regionen und der Umwelt mit in den Blick nehmen sollte. Auf regionaler Ebene sollten dabei insbesondere auch illegale Exporte ins EU-Ausland in den Blick genommen werden, die häufig dazu führen, dass die End-of-Life-Produkte nicht nach fortgeschrittenen Standards recycelt werden. Demgegenüber sind Export- und Importbeziehungen mit Regionen für die Etablierung effizienter und funktionsfähiger Kreislaufsysteme unabdingbar. Verluste von Rohstoffen in die Umwelt wiederum können durch die Entwicklung effizienter Kreislaufsysteme in NRW verringert, jedoch nicht gänzlich unterbunden werden.

4.3 Parameter zur Messung von Rohstoffsubstitution und Sekundärrohstoffeinsatz

Grundlegende Begriffe: Definition und Einordnung

In Abbildung 4.3.1 sind grundlegende Begrifflichkeiten dargestellt, die im Rahmen des Sekundärrohstoffeinsatzes von Be-

deutung sind. Hier wie auch bei der Darstellung der Indikatoren liegt der Schwerpunkt auf Metallen, da diese einen Großteil der für die Schlüsselindustrien relevanten Rohstoffe bilden.

Abb. 4.3.1: Begriffe und Definitionen im Zusammenhang mit Circular Economy und Recycling

Begriff (engl.)	Definition
Neuschrott (new scrap) Vorverbraucherschrott (pre-consumer scrap) Heimschrott (home scrap)	Material, das bei der Herstellung eines Produktes entsteht und direkt wieder in dem Prozess eingesetzt werden kann, der es erzeugt hat.
Altschrott (old scrap) Post-Verbraucherschrott (post-consumer scrap) Schrott am Ende der Nutzungsdauer (End-of-Life scrap)	Material in Produkten, die das Ende ihrer Lebensdauer (End-of-Life, EoL) erreicht haben.
Offener (Metall-/Produkt-) Lebenszyklus (open live cycle (of a metal or product))	Der Lebenszyklus ist offen, wenn Altprodukte weder für das Recycling gesammelt werden noch in jene Recyclingströme gelangen, die den jeweiligen Rohstoff effizient recyceln können. Zu Rohstoffen mit offenem Lebenszyklus gehören solche, die auf Deponien entsorgt oder mit ungeeigneten Technologien recycelt werden, bei denen Metalle nicht oder nur ineffizient zurückgewonnen werden sowie Rohstoffe, bei deren Recycling die Funktionalität verloren geht (siehe Nichtfunktionelles Recycling).
Geschlossener (Metall-/Produkt-) Lebenszyklus (closes live cycle (of a metal or product))	Der Lebenszyklus eines Metalls ist geschlossen, wenn Altprodukte in entsprechende Recyclingketten gelangen, sodass Schrott in Form von Rezyklaten Primärmetalle verdrängt.
Funktionelles Recycling (functional recycling)	Der Teil des End-of-Life-Recyclings, bei dem das Metall in einem ausrangierten Produkt getrennt und sortiert wird, um Rezyklate zu erhalten, die in Produktionsprozesse für Rohmaterial zurückgeführt werden.
Nichtfunktionelles Recycling (non-functional recycling)	Der Teil des End-of-Life-Recyclings, bei dem das Metall als Altmetallschrott gesammelt und als Begleitelement oder Verunreinigung in einen anderen großvolumigen Materialstrom eingebracht wird.
Recyclingfehler (recycling failures)	...entstehen, wenn Materialien nicht durch einen der oben genannten Recyclingströme erfasst werden, einschließlich Verlusten während der Nutzung (In-Use-Dissipation), am Ende der Lebensdauer (zu Deponien) und immer dann, wenn Metalle nicht aus Recyclingfraktionen zurückgewonnen werden (Endabfälle, Schlacke, Abwässer, Staub).

Eigene Darstellung nach UNEP (2011 a und b), Tercero Espinoza und Soulier (2017), Graedel et al. (2011), Eurometaux und Eurofer (2012).

Anhand der Begriffe lässt sich die Relevanz der jeweils dahinterliegenden Sachverhalte diskutieren:

- Der Neuschrott oder Vorverbraucherschrott stellt in aller Regel kein Problem im Rahmen des Recyclings dar. Grund ist, dass in der Vergangenheit der zunehmende ökonomische Druck und die Verknappung von Ressourcen in den meisten Fällen dazu geführt haben, dass die

entsprechenden Ströme minimiert wurden bzw. sich ein funktionierendes Recycling entwickelt hat. Demgegenüber erfordert das Recycling von Altschrott am Ende der Nutzungsdauer von Produkten in der Regel den aktiven Eingriff des Staats in Form der Etablierung von Recyclingsystemen, wenn ein funktionierender Recyclingkreislauf sich entwickeln soll.

- Die Entwicklung von einem offenen zu einem geschlossenen Lebenszyklus ist eine zentrale Zielsetzung bei der Entwicklung einer *Circular Economy*. Eine zentrale Aufgabe ist daher, noch existierende offene Kreisläufe zu identifizieren und durch ökonomisch effiziente Anreize für die Etablierung eines effizienten Kreislaufs zu sorgen.
- In jedem Recyclingprozess von Altprodukten entstehen bei der Sammlung der Materialien Verunreinigungen durch den Eintrag anderer Materialien (nicht-funktionelles Recycling). Diese erschweren das Recycling und reduzieren die Effizienz der Recyclingprozesse. Ein Ziel bei der Etablierung eines funktionierenden Kreislaufs ist die Reduktion dieser Verunreinigung. Dies kann beispielsweise bei der Sortierung im Haushalt geschehen (Reduktion der Fehlwürfe) oder auch beim Design von Produkten (recyclinggerechte Entwicklung).
- Recyclingfehler wiederum, bei denen Materialien nicht im Rahmen von Recyclingströmen erfasst werden, können aus unterschiedlichen Gründen entstehen. Dies kann etwa dadurch geschehen, dass bestimmte Rohstoffmengen unbeabsichtigt in die Umwelt gelangen. Hier ist es die Aufgabe bei der Optimierung von Kreislaufprozessen, Recyclingfehler zu identifizieren und, wo dies mit vertretbarem Aufwand möglich ist, zu beseitigen.

Hinter den hier beschriebenen Begrifflichkeiten stehen Ströme und Prozesse, die über Indikatoren erfasst werden können.

Indikatoren zur Erfassung des Sekundärrohstoffeinsatzes

Die Darstellung des mit dem Einsatz von Sekundärrohstoffen verbundenen wirtschaftlichen Nutzens ist mit verschiedenen Indikatoren möglich, wobei der Aufwand für die Ermittlung der Indikatoren unterschiedlich hoch ist (Abb. 4.3.2). Die Darstellung konzentriert sich hier wie schon erwähnt hauptsächlich auf das Metallrecycling, da dieses für die Schlüsselindustrien in NRW von besonderer Bedeutung ist.

So können quantitative Kennzahlen gebildet werden, die über eine Substitutionsquote anzeigen, wie viel Primär- durch Sekundärmaterial potenziell ersetzt werden kann. Diese Indikatoren können sowohl für den gesamten Materialeinsatz als auch für einzelne Schlüsselbranchen ausgewiesen werden. Auf Ebene einzelner Rohstoffe können Indikatoren für das gegenwärtig bestehende Recyclingpotenzial und die Differenz zwischen gegenwärtiger Situation und Ausschöpfung des Potenzial für den Einsatz von Sekundärmaterialien gebildet werden (Potenzial-Substitutionsquote). Diese Indikatoren können sich jeweils an der Erreichung politisch gesetzter Zielsetzungen orientieren (Dittrich et al. 2021: 55f.; vgl. auch die in den Fallstudien für einzelne Rohstoffe beschriebenen Zielgrößen).

Ein wichtiger Indikator für das Metallrecycling ist die **(funktionelle) Recyclingrate für Altschrott** (*(functional) End-of-Life Recycling Rate, EoL RR*). Ebenso wie der **Wirkungsgrad des Recyclingprozesses** (*recycling process efficiency rate*) und die **Rückgewinnungsrate** (*recovery rate*) setzt der Indikator auf globaler Ebene die Menge des Metalls aus einem Recyclingprozess in Relation zur Metallmenge, die (theoretisch) aus den Produkten zurückgewonnen werden könnte, deren Lebenszyklus beendet ist. Damit ist er geeignet, das Erreichen gesetzlich vorgegebener Recyclingziele zu überprüfen. Tercero Espinoza und Soulier (2017) interpretieren ihn als Maß für die Effizienz des Recyclingprozesses (Sammlung und Vorbehandlung/Sortierung) zur Gewinnung von Sekundärmetall. Der UNEP-Report (2011a) hält den Indikator EoL RR besonders geeignet, um die gesamtgesellschaftliche Recyclingperformance zu beschreiben, da er unabhängig vom Wachstum des Produktmarktes oder der Produktlebensdauer ist. Allerdings wird der Indikator stark vom schwächsten Glied in der Recyclingkette – der Sammlung – beeinflusst. Auf der regionalen Ebene misst der Indikator die Effizienz des regionalen Abfallbehandlungssystems, das den vorbehandelten inländischen Metallschrott für das Recycling bereitstellt. Dabei spielt es keine Rolle, ob das Recycling selbst in der gleichen Region oder anderswo stattfindet.

Die **Altschrottquote** (*old scrap ratio, OSR*) ist der Anteil des erfassten und aufbereiteten Altschrotts am Ende eines Produktlebenszyklus an der Summe aus Neu- und Altschrott (Eurometaux und Eurofer, 2012; Graedel et al., 2011). Tercero Espinoza und Soulier (2017) führen dazu aus, dass dieser Indikator auf den gesamten Recyclingstrom abstellt, der vor dem Verarbeitungsschritt der Metallrückgewinnung liegt. Der Indikator erlaubt damit, Aussagen über die Zusammensetzung dieses Recyclingstroms zu treffen. Da bei regionaler Betrachtung die Recyclingströme für Altschrott und Neuschrott aus der Region ins Verhältnis gesetzt werden, bleibt der Indikator unabhängig von Schrottströmen, die direkt in das Metallrecycling gelangen. In formaler Hinsicht ist eine Anpassung an legale – und damit als Außenhandel erfasste – Im- und Exporte von Schrott nicht erforderlich. Lediglich illegale Im- und Exporte von Schrott können den Indikator beeinflussen, wenn sie „unbemerkt“ in die berücksichtigten Schrottströme gelangen.

Ein Indikator aus der sektoralen Perspektive der Metallproduktion (Vor- und Endprodukte) ist die **Recyclinginputrate** (*recycling input rate, RIR*). Auf globaler Ebene beschreibt sie nach Eurometaux und Eurofer (2012) den Anteil des Sekundärmetalls am gesamten Metallinput (primär und sekundär),¹² wobei der Sekundärstrom sich aus dem gesammelten und sortierten Neuschrott aus der Metallproduktion sowie dem gesammelten und sortierten Altschrott aus der Verwendung in Haushalten und anderen Endverbrauchern zusammensetzt (siehe Abb. 4.2.1). Der Indikator liefert statistische Informationen über die Herstellungsprozesse von Metall(-produkten) und nicht über die Effizienz von Recyclingprozessen. Für die

¹² UNEP (2011a) bezeichnet diese Relation als *Recycled Content (RC)*, was deutlich macht, dass beide Indikatoren auf globaler Ebene die gleiche Aussage treffen.

regionale Ebene sind drei weitere Materialströme zu berücksichtigen (Tercero Espinoza und Soulier, 2017): der grenzüberschreitende Handel mit Primär- sowie Sekundärmetall und die Vorratsveränderung bei Abfällen. Da die Metallproduktion in der Region hier den Rahmen bildet, ist der Metallgehalt von importierten Halb- und Fertigerzeugnissen an dieser Stelle nicht von Belang; beim Sekundärmaterial sind die Ein-

und Ausfuhren von Schrott relevant. Während die deutsche Außenhandelsstatistik für Ein- und Ausfuhr von Primär- und Sekundärmetall eine gute amtliche Datenbasis darstellt, liegen für den innerdeutschen Warenverkehr sowie für Lagerbestände an Alt- und Neuschrott und deren Veränderung nur wenige Informationen vor.

Abb. 4.3.2: Definition und Abkürzung von Indikatoren im Zusammenhang mit Recycling

Indikator (engl.)	Abkürzung	Definition
(Funktionelle) Recyclingrate des Altschrotts (<i>functional End-of-Life Recycling Rate</i>)	EoL RR	Relation: Altschrott / EoL-Produkte (metallhaltig) Bezieht sich auf funktionelles Recycling (sofern nicht anders vermerkt) und umfasst das Recycling von Metall und Legierungen; misst die Effizienz des Recyclings.
Nichtfunktionelle Recyclingrate des Altschrotts (<i>non-functional EoL RR</i>)	-	Relation: Altschrott für nicht-funktionelles Recycling / EoL-Produkte (metallhaltig) Menge an Metall, die zusammen mit Altschrott eines anderen (Haupt-) Metalls gesammelt wird, aber für das funktionale Recycling verloren geht und (nur) als Begleitelement oder Verunreinigung in den Materialstrom des (Haupt-) Metalls eingeht.
Rückgewinnungsrate (<i>recovery rate</i>) bzw. Wirkungsgrad des Recyclingprozesses (<i>recycling process efficiency rate</i>)	-	Relation: Rezyklierter Altschrott / Erfassungsmenge Altschrott Zeigt den Wirkungsgrad eines bestimmten Recyclingprozesses.
Altschrottquote (<i>old scrap ratio</i>)	OSR	Relation: Erfasster Altschrott / (Erfasster Altschrott + Neuschrott) Anteil des erfassten und für das Recycling vorbereiteten EoL-Altschrotts im Recyclingstrom
Recyclinginputrate (<i>recycling input rate</i>) Rezyklatgehalt (<i>recycled content</i>)	RIR RC	Relation: Sekundärmetallmenge (rezyklierter Alt- und Neuschrott) / (Einsatz Primär- & Sekundärmetalle) <ul style="list-style-type: none"> • Auf globaler Ebene identisch definiert: Anteil des Sekundärmetalls (Alt- und Neuschrott) am Gesamtmetalleinsatz der Metallproduktion. • Unterschiedliche Definition auf regionaler Ebene: <ul style="list-style-type: none"> ○ RC bezieht sich auf den Metalleinsatz (primär und sekundär) zur Herstellung von Endprodukten. ○ RIR bezieht sich auf den Metalleinsatz (primär und sekundär) für die Metallproduktion (einschließlich des Metalls, das von Halbzeugproduzenten hergestellt wird).
Altschrottrecyclinginputrate (<i>End-of-Life recycling input rate</i>) Altschrottrecyklatgehalt (<i>End-of-Life recycled content</i>)	EoL RIR EoL RC	Relation: Altschrott / (Einsatz Primär- & Sekundärmetalle) Anteil von Altschrott an der gesamten Metallproduktion bzw. am gesamten Metalleinsatz.
Altschrottsammelquote (<i>End-of-Life collection rate</i>)	EoL CR	Relation: Altschrottsammelmenge / Metallanteil aller EoL-Produkte Anteil des EoL-Metalls, der gesammelt wird und in die Recyclingkette gelangt.
Altschrottverarbeitungsrate (<i>End-of-Life processing rate</i>)	EoL PR	Relation: Rezyklierter Altschrott / Altschrottsammelmenge Effizienz von EoL-Schrott, der in Metallproduktionsanlagen verarbeitet wird.
Recyclinggesamteffizienzrate (<i>overall recycling efficiency rate</i>)	ORER	Relation: Sekundärmetallinput / (Metallanteil aller EoL-Produkte + Neuschrott) Zeigt die Effizienz des Sammelns, Vorbehandelns und Recyclings über den gesamten Lebenszyklus von Metallen; bezieht EoL-Metall als auch Neuschrott (<i>new scrap</i>) ein.

Eigene Darstellung nach UNEP (2011a, b), Tercero Espinoza und Soulier (2017), Graedel et al. (2011) und Eurometaux und Eurofer (2012).

Auf globaler Ebene beschreibt der **Rezyklatgehalt** (*recycled content, RC*) die gleiche Beziehung wie die Recyclinginputrate, hier jedoch aus der Produktperspektive für den Einsatz von Metall. Beim Wechsel auf die regionale Ebene sind neben den bereits genannten zusätzlichen Materialströmen für die Recyclinginputrate auch die Anteile von rezykliertem Metall bei den Ein- und Ausfuhren von Metall zu berücksichtigen. Während für den Anteil von Sekundärmetall in Metallexporten der regionale RIR-Wert als Näherungswert verwendet werden kann, können für den Anteil von Sekundärmetall bei Metallimporten – je nach vorliegenden Informationen – nur mehr oder weniger genaue Annahmen getroffen werden. Beispielsweise kann für importiertes Sekundärmetall der globale RIR-Anteil als Näherung herangezogen werden, solange die betrachtete Region (z.B. Deutschland oder Nordrhein-Westfalen) im betrachteten anthropogenen Metallkreislauf auf globaler Ebene keine dominierende Rolle spielt und/oder der Einsatz von Sekundärmetall nicht wesentlich vom globalen Durchschnitt abweicht (Tercero Espinoza und Soulier, 2017).

Die **Altschrottrecyclinginputrate** (*End-of-Life recycling input rate, EoL RIR*) und der **Altschrottrecyklatgehalt** (*End-of-Life recycled content, EoL RC*) sind Spezialfälle der Indikatoren RIR und RC und stellen ausschließlich auf den Anteil des Metallschrotts ab, der bei Endverbrauchern gesammelt wird (Tercero Espinoza und Soulier, 2017). Zusätzliche Informationen liefern die beiden Indikatoren auf globaler Ebene insbesondere, wenn der Anteil des Altschrotts im betrachteten anthropogenen Metallkreislauf sehr gering ist. Auf regionaler Ebene sind zu ihrer Berechnung weitere Annahmen erforderlich, da Alt- und Neuschrott getrennt betrachtet werden müssen.

Wie gezeigt wurde, gibt es bei den Indikatoren Rezyklatgehalt (RC) und Recyclinginputrate (RIR) das Problem, dass deren Definition und Unterscheidung davon abhängen, welche Materialströme als Basis der Berechnung verwendet werden. Die Entscheidung hierüber wird oftmals vom verfügbaren Datenmaterial geprägt (UNEP, 2011a). So kommt es vor, dass beide Indikatoren mal synonym verwendet werden und manchmal nicht (Tercero Espinoza und Soulier, 2017). Der Vergleich von Ergebnissen verschiedener Studien wird hierdurch erschwert oder sogar unmöglich gemacht.

Die **Altschrottsammelquote** (*End-of-Life collection rate, EoL CR*) stellt auf den Anteil des eingesammelten Altschrotts am gesamten Altschrott ab und stellt damit einen Effizienzindikator für die Altschrottsammlung dar, der Auskunft über Verbesserungspotenziale gibt.

Die **Altschrottverarbeitungsrate** (*End-of-Life processing rate, EoL PR*) in der Metallproduktion zeigt die Effizienz des Vorbehandlungsprozesses innerhalb der Recyclingkette. Als Anteil des recycelten Altschrotts am insgesamt gesammelten Altschrott zeigt die Rate, ob im Vorbehandlungsprozess weiteres Verbesserungspotenzial besteht. Der Indikator wird stark von der Effizienz der einzelnen Vorbehandlungen (Demontage, Sortierung, Zerkleinerung etc.) beeinflusst.

Ein weiterer Effizienzindikator aus sektoraler Sicht der Metallproduktion ist die **Recyclinggesamteffizienzrate** (*overall recycling efficiency rate, ORER*). Als Verhältnis des eingesetzten Sekundärmetalls zum gesamten Metallschrott zeigt sie die Effizienz des Recyclingprozesses (sammeln, vorbehandeln/sortieren, recyceln) für Neu- und Altschrott über den gesamten Lebenszyklus von Metallen.

Die drei zuletzt genannten Indikatoren beziehen sich alle auf inländischen Metallschrott. Tercero Espinoza und Soulier (2017) halten sie daher gleichsam auf globaler und regionaler Ebene ohne weitere Anpassungen für verwendbar.

Die Ermittlung monetärer Kennzahlen ist aufwändiger. Eine einfache Kalkulation würde die Kosten pro Tonne für Primär- und Sekundärmaterialien gleicher Qualität gegenüberstellen. Dieser Ansatz berücksichtigt jedoch nicht die externen Effekte, die z.B. von CO₂-Emissionen bei der Gewinnung von Primär- oder Sekundärrohstoffen ausgehen. Erst die Internalisierung dieser Externalitäten ermöglicht eine realistische Abschätzung der gesamtwirtschaftlichen Kosten von Primär- und Sekundärmaterialien.

Erfassung des Fortschritts in Hinblick auf die Circular Economy und des wirtschaftlichen Nutzens des Sekundärrohstoffeinsatzes

Um die Fortschritte bei der Umsetzung der *Circular Economy* sichtbar zu machen und untersuchen zu können, müssen geeignete Modelle und Ansätze herangezogen werden, die den Einsatz von Sekundärrohstoffen abbilden können. Bei der Erfassung der Substitution einzelner Rohstoffe kann auf Ebene des einzelnen Rohstoffs angesetzt werden, indem man Substitutionsquoten ermittelt. Darüber hinaus ist es auch möglich, auch bei den einzelnen Branchen anzusetzen und dort nach dem Einsatz von Rezyklaten im Vergleich zu Primärmaterial zu fragen. Hier wird ein Ansatz verfolgt, nach dem einzelne Sammel- und Recyclingsysteme im Mittelpunkt stehen. Dieser Ansatz wird im Folgenden weiter konkretisiert, indem innerhalb von Fallstudien einzelne Sammel- und Recyclingsysteme näher betrachtet werden (UBA 2019: 5).

Dabei kann es nicht das alleinige Ziel sein, eine möglichst weitgehende Umsetzung der *Circular Economy* zu erreichen. Vielmehr sind die hierbei jeweils entstehenden Kosten (entweder in Form von Ressourceneinsatz oder auch durch Umweltbelastung an anderer Stelle etwa durch CO₂-Emissionen bei der Transportlogistik im Rahmen des Recyclings) mit zu berücksichtigen.

Die Abbildung des mit dem Einsatz von Sekundärrohstoffen verbundenen wirtschaftlichen Nutzens ist im Rahmen der verschiedenen Indikator-Dimensionen möglich, wobei sich diese in Bezug auf den mit der Ermittlung der Indikatoren verbundenen Aufwand unterscheiden:

- So können quantitative Kennzahlen gebildet werden, die über eine Substitutionsquote anzeigen, wie viel Primärmaterial durch Sekundärmaterial ersetzt werden kann.

Diese Indikatoren können sowohl auf den gesamten Materialeinsatz als auch auf einzelne Schlüsselbranchen bezogen werden.

- Auf Ebene einzelner Rohstoffe können Indikatoren für das gegenwärtig bestehende Recyclingpotenzial und die Differenz zwischen gegenwärtiger Situation und Ausschöpfung des Potenzials für den Einsatz von Sekundärmaterialien gebildet werden (Potenzial-Substitutionsquote).
- Die Ermittlung monetärer Kennzahlen ist aufwändiger. Eine einfache Kalkulation würde die Kosten pro Tonne des Materials für Primär- und Sekundärmaterialien gleicher Qualität gegenüberstellen. Dieser Ansatz berücksichtigt jedoch nicht die externen Kosten z.B. von CO₂-Emissionen bei der Gewinnung von Primär- oder Sekundärrohstoffen.
- Erst die Berücksichtigung der externen Kosten ermöglicht eine Abschätzung der gesamten volkswirtschaftlichen Kosten von Sekundär- wie von Primärmaterialien. Dabei fragt man, wie etwa der Nutzen und die Kosten eines Recyclingsystems aussehen und ob der Nutzen die Kosten übersteigt. Alle positiven wie negativen Wirkungen eines Systems werden einander gegenübergestellt, um zu einer Gesamteinschätzung zu gelangen.

Alle Ansätze, die nach dem volkswirtschaftlichen Nutzen etwa eines Recyclingsystems fragen, sind in der Ermittlung ökonomischer Kenngrößen mit einem nicht unerheblichen Aufwand verbunden. Solche Indikatoren können in der Regel nur im Rahmen spezifischer Studien für einzelne Recyclingsysteme entwickelt werden. Das entsprechende Instrumentarium ist durch den wohlfahrtsökonomischen Ansatz gegeben, der jeder Nutzen-Kosten-Analyse zugrunde liegt. Gleichzeitig besteht keine Alternative zur umfassenden Ermittlung und Gegenüberstellung verschiedener Dimensionen der Nutzen und Kosten, wenn eine Einschätzung zur ökonomischen Vorteilhaftigkeit eines Kreislaufsystems getroffen werden soll. Einfachere Ansätze lassen häufig externe Kosten des Umweltkreislaufs unberücksichtigt.

Relevanz der Indikatoren für NRW und Anpassungserfordernisse

Die aufgeführten Indikatoren beschreiben unterschiedliche Aspekte des Recyclings und sind daher grundsätzlich auch für Nordrhein-Westfalen aussagekräftig. Sie sind geeignet, für NRW die verschiedenen Dimensionen des Recyclings und Einsatzes von Sekundärmaterial abzubilden.

Bei den Indikatoren besteht die Notwendigkeit, diese um regionale Materialströme zu modifizieren. Ob dies erforderlich ist, hängt vor allem davon ab, welchen Zusammenhang der Indikator beschreibt. Beispielsweise gehen in die Altschrottquote (OSR) Materialströme ein, die bereits innerhalb einer Region vorliegen: die Menge des erfassten und getrennten Altschrotts und der vorhandene Neuschrott. In diesem Fall erübrigt sich eine Regionalisierung. Die formale Definition des Indikators kann sowohl auf globaler wie auf regionaler Ebene genutzt werden (Tercero Espinoza und Soulier, 2017).

Lediglich zwei Indikatoren sind von grenzüberschreitenden Materialströmen beeinflusst und müssen daher auf regionaler Ebene angepasst werden: Die Altschrottrecyclinginputrate (EoL RIR), die das Recycling aus der Perspektive der Metallproduktion beschreibt und der Altschrottzyklatgehalt (EoL RC) aus der Perspektive der Herstellung von Metallerzeugnissen. Für die regionale Definition der beiden Indikatoren sind bis zu drei Erweiterungen erforderlich: (1) der Handel mit Primärmetall (für EoL RIR) bzw. die Ein- und Ausfuhr von Metallerzen (für EoL RC), (2) der Handel mit Sekundärmetall und (3) die Veränderung von Lagerbeständen von Alt- und Neuschrott. Die Verfügbarkeit dieser Angaben ist sehr unterschiedlich. Auf nationaler und Länderebene liegen Außenhandelsdaten für Primär- und Sekundärmetalle in vielen Fällen vor. Der Anteil von Sekundärmetallen in Primärmetallen muss dagegen oftmals geschätzt werden, ebenso wie Veränderungen des Lagerbestandes an Schrott (Tercero Espinoza und Soulier 2017). Abhängig von den verfügbaren Daten werden beide Indikatoren häufig synonym verwendet (UNEP 2011, Eurometaux und Eurofer 2012).

4.4 Substitution, Rezyklierbarkeit und Recyclingpotenzial der für die NRW-Schlüsselindustrien relevanten Rohstoffe

Zentrale Fragen in Hinblick auf die Erreichung der Zielsetzungen einer Kreislaufwirtschaft und die Sicherheit der Rohstoffversorgung für die Schlüsselindustrien in NRW sind die Substitutionsmöglichkeiten für einzelne Rohstoffe, die Rezyklierbarkeit und das bestehende Recyclingpotenzial.

In Hinblick auf diese drei Aspekte, die jeweils für einzelne Rohstoffe bewertet werden können, sind unterschiedliche Aspekte zu beachten.

Substituierbarkeit

Unter Substituierbarkeit ist in unserem Kontext zu verstehen, dass ein Rohstoff in einer Anwendung durch einen anderen ersetzt wird. Wie die Beschreibung schon sagt, lässt sich diese Frage direkt nur für einzelne Anwendungen beantworten. Darüber hinaus ist es teilweise für die Substitution eines Rohstoffs erforderlich, Forschungsaktivitäten über die Substitution in bestimmten Anwendungen zu betreiben. Dies geschieht in der Praxis in der Regel, wenn ein Rohstoff vorübergehend teuer bzw. knapp geworden ist oder dies zu befürchten ist. Bei der Substitution von zentraler Bedeutung sind die Fragen, ob ein Ersatz in gleicher Qualität möglich ist bzw. zu welchem Preis der Substitutions-Rohstoff zu bekommen ist. So tritt häufig das Problem auf, dass Ersatzrohstoffe nur zu einem hohen Preis zu bekommen sind (dies ist etwa bei Palladium der Fall, das in Abhängigkeit vom Preis mit gewissen Performanceeinbußen durch Nickel ersetzt werden kann).

Recycling

Beim Recycling stellt sich zunächst die Frage, inwieweit ein Rohstoff derzeit recycelt wird. Die Höhe der Recyclingquote hängt u.a. vom Preis und damit vom Anreiz ab, einen Rohstoff zu recyceln. Darüber hinaus spielen bestehende Sammelsysteme eine Rolle wie auch die Frage, in welchen Mengen bestimmte Rohstoffe in Produkten enthalten sind und damit, wie aufwendig es ist, diese wieder zu gewinnen. Dabei steht in unserer Betrachtung das End-of-Life-Recycling, also das Recycling nach Ende des Produktlebenszyklus, im Mittelpunkt. Produktionsbegleitende Abfälle werden mittlerweile so gut wie vollständig recycelt. Darüber hinaus haben in den vergangenen Jahrzehnten die Produzenten in zahlreichen Branchen ihre Prozesse so weit optimiert, dass sich die Überschuss-Mengen aus der Produktion immer weiter reduziert haben.

Recyclingpotenzial

Getrennt vom Recycling sind die noch bestehenden Recyclingpotenziale zu betrachten. Die Frage nach Recyclingpotenzialen ist auch im Kontext zu beachten. Sie sind abhängig von bestehenden bzw. angenommenen Technologien sowie der Existenz und Effizienz von Sammelsystemen. So kann es sein, dass in Hinblick auf einen bestimmten Rohstoff derzeit

kein Recyclingpotenzial existiert, dies aber in Zukunft mit verbesserter Recyclingtechnologien und einer höheren Verfügbarkeit des Rohstoffs möglich ist. So ist es wahrscheinlich, dass in Zukunft ein Recycling von Seltenerdenmetallen möglich und ökonomisch sinnvoll wird. Auch andere Faktoren wie das Produktdesign wirken sich auf das Recyclingpotenzial aus.

Ausprägungen auf der Ebene der einzelnen Rohstoffe mit hohem oder mittlerem Risiko

Vor diesem Hintergrund gibt Abbildung 4.4.1 einen Überblick über die Bewertung der verschiedenen hier betrachteten Rohstoffe nach Substituierbarkeit, bislang durchgeführtem Recycling und absehbarem Recyclingpotenzial. Grundlage für die Darstellung sind die Befunde aus der einschlägigen Literatur und aus den Expertengesprächen. Die Rohstoffe sind strukturiert nach solchen, die mit einem hohen oder einem mittleren Risiko in Hinblick auf die Verfügbarkeit verbunden sind. Eine genauere Erläuterung auf Ebene der einzelnen Rohstoffe findet sich in den Abbildungen 4.4.2 bis 4.4.7:

- In Abbildungen 4.4.2 und 4.4.3 wird die Substituierbarkeit für die risikobehafteten Rohstoffe und diejenigen mit mittlerem Risiko hinsichtlich der Verfügbarkeit bewertet.
- Die Abbildungen 4.4.4 und 4.4.5 bewerten die gegenwärtig bestehenden Recyclingaktivitäten jeweils für risikobehaftete Rohstoffe und diejenigen mit mittlerem Risiko.
- In den Abbildungen 4.4.6 und 4.4.7 wiederum werden für die beiden Kategorien von Rohstoffen die weiterhin noch bestehenden Recyclingpotenziale für die Zukunft bewertet.

Die Darstellung zeigt, dass es doch in vielen Fällen nur geringe oder keine Substitutionsmöglichkeiten gerade für risikobehaftete Rohstoffe gibt. In Hinblick auf das durchgeführte Recycling ist das Bild sehr gemischt. Solchen Rohstoffen, die nur in sehr geringem Maß recycelt werden, stehen andere wie Palladium, Gold oder Kupfer gegenüber, bei denen bereits seit langem eine hohe Recyclingquote vorherrscht.

Allerdings besteht nicht bei allen Rohstoffen, bei denen bislang nur in geringem Maße Recycling betrieben wird, für die nahe Zukunft ein hohes Recyclingpotenzial. Demgegenüber ist künftig etwa bei Rohstoffen, die z.B. in der Batterieproduktion für die Elektromobilität eingesetzt werden, ein hohes Recyclingpotenzial zu erwarten (wie etwa bei Lithium oder Kobalt). Bei anderen Rohstoffen, wie bei den Seltenerdenmetallen, kann vermutet werden, dass durch das verbesserte Recycling von Magneten (Elektromotoren) künftig eine gewisse Recyclingkapazität aufgebaut werden kann.

Abb. 4.4.1: Substituierbarkeit, Recycling und Recyclingpotenzial der Rohstoffe

Rohstoffe	Substituierbarkeit	Recycling (bislang)	Recyclingpotenzial
Rohstoffe mit hohem Risiko			
Chrom			
Dysprosium			
Gallium			
Germanium			
Graphit			
Indium			
Kobalt			
Lithium			
Mangan			
Neodym			
Palladium			
Platin			
Praseodym			
Scandium			
Silber			
Tantal			
Titan			
Wolfram			
Yttrium			
Zinn			
Rohstoffe mit mittlerem Risiko			
Aluminium			
Antimon			
Blei			
Gold			
Kupfer			
Magnesium			
Molybdän			
Nickel			
Niob			
Rhenium			
Rhodium			
Ruthenium			
Silizium			
Vanadium			
Zink			

dunkelgrau = hoch; hellgrau = mittel; weiß = gering

Eigene Darstellung auf Basis der ausgewerteten Literatur, insbesondere UNEP (2011a und b), European Commission (2020a und c), Graedel et al. (2011), Eurometaux und Eurofer (2012) sowie der Expertengespräche und auf Basis von Internetrecherchen.

Abb. 4.4.2: Bewertung der Substituierbarkeit von Rohstoffen mit hohem Risiko

Rohstoff	Substituierbarkeit	Bewertung Substituierbarkeit
Chrom	Für relevante Nutzungen von Chrom (etwa Resistenz gegenüber Korrosion und Oxidation) existieren keine Substitute.	gering
Dysprosium	Ohne Leistungseinbußen ist eine Substitution in den meisten Anwendungen derzeit nicht möglich.	gering
Gallium	Wichtig für bestimmte spezifische Anwendungen (etwa in Halbleiter, LEDs, Photovoltaik). Es existieren alternative Technologien und Materialien, die aber neben niedrigeren Kosten in der Regel auch mit einer schlechteren Performance verbunden sind.	gering
Germanium	In den zentralen Anwendungsfeldern (IT, Katalysatoren) gibt es vereinzelte Möglichkeiten der Substitution. Derzeit laufen einige Forschungen, um weitere Substitutionsmöglichkeiten auszuloten.	mittel
Graphit	In vielen Verwendungen schwer zu ersetzen; Substitutionsmöglichkeit etwa durch synthetisches Graphit (gutes Substitut) oder Lithium (Batterien). Wahl von Substitutionsmaterial wird durch den Preis und jeweilige Materialeigenschaften (wie etwa Partikelgröße) bestimmt.	mittel
Indium	Substitutionsmöglichkeiten existieren für einige der zentralen Einsatzfelder (wie Flachbildschirme; Photovoltaik).	mittel
Kobalt	Besitzt sehr spezifische Eigenschaften, die die Substitutionsmöglichkeiten einschränken. In Batterien existieren Ersatzmaterialien (etwa durch Nickel). In anderen Anwendungen ist es nur unter Inkaufnahme von Performance-Einbußen möglich, Kobalt zu ersetzen.	gering
Lithium	Kann in einigen Verwendungen durch Kalzium, Magnesium, Quecksilber oder Zink ersetzt werden. Jedoch führen der geringe Preis und die sichere Verfügbarkeit dazu, das Lithium selten durch andere Materialien ersetzt wird.	mittel
Mangan	Wird beispielsweise als Kathodenmaterial in Alkalibatterien und Lithium-Ionen-Batterien eingesetzt. Kann bislang nicht bzw. nur sehr begrenzt durch andere Stoffe substituiert werden.	gering
Neodym	Ohne Leistungseinbußen ist eine Substitution von Seltenerdmetallen wie Neodym derzeit für viele Anwendungen nicht absehbar.	gering
Palladium	Kann teilweise durch Platin ersetzt werden, das jedoch auch selten und vor allem teuer ist (Platingruppenmetalle sind in der Verwendung nur untereinander austauschbar, jedoch teuer).	mittel
Platin	Vollständig wiederverwertbar, kann in zentralen Anwendungen teilweise durch Palladium ersetzt werden (Platingruppenmetalle sind nur untereinander austauschbar).	mittel
Praseodym	Ohne Leistungseinbußen ist eine Substitution von Seltenerdmetallen derzeit für viele Anwendungen nicht absehbar. Es wird nach Möglichkeiten geforscht, ihre Einsatzmenge zu reduzieren.	gering
Scandium	In den meisten Anwendungen existieren Substitute. Stellt selbst ein Substitut für andere Materialien dar, wird nur in wenigen Nischenanwendungen eingesetzt (Grundlage: Performance, Verfügbarkeit, Preis).	mittel
Silber	Die Substitution gelingt in bestimmten Verwendungen durch Aluminium, Rhodium, Tantal oder Edelstahl. Eine Substitution ist vielfach auch in elektronischen Anwendungen möglich.	mittel
Tantal	Wichtige Rolle bei Superlegierungen, gleichzeitig geringe Kosten, was die Substitution unwahrscheinlich macht. Substitutionsmöglichkeiten bestehen teilweise durch Niob, Aluminium, Keramik, Platin, Titan oder Zirkonium.	mittel
Titan	Herausragende Eigenschaften in Hinblick auf die Festigkeit und Korrosionsresistenz. Jedoch stehen vielfach Substitute (etwa Superlegierungen) zur Verfügung. Als Pigment bestehen Substitutionsmöglichkeiten durch Kalziumkarbonat, Kaolin oder Talk.	mittel
Wolfram	Kann in bestimmten Verwendungen durch keramisch-metallische Verbundwerkstoffe ersetzt werden. Substitution von Wolframkarbiden durch Molybdän- oder Titankarbide; in Stahl durch Molybdän. Jedoch ist die Substitution wegen der besonderen Eigenschaften von Wolfram vielfach mit Performance-Einbußen verbunden.	mittel
Yttrium	Ohne Leistungseinbußen ist eine Substitution von Seltenerdmetallen derzeit für viele Anwendungen nicht absehbar.	gering
Zinn	In zahlreichen Anwendungen existieren Substitute. Kann je nach Anwendung durch andere Stoffe wie Aluminium, Glas, Plastik, Epoxidharze und Alu- bzw. Kupferlegierungen ersetzt werden.	mittel

Eigene Darstellung nach UNEP (2011a und b), European Commission (2020a und c), Graedel et al. (2011), Eurometaux und Eurofer (2012), sowie Expertengesprächen und Internetrecherchen.

Abb. 4.4.3: Bewertung der Substituierbarkeit von Rohstoffen mit mittlerem Risiko

Rohstoff	Substituierbarkeit	Bewertung Substituierbarkeit
Aluminium	Kann in bestimmten Verwendungen durch andere Stoffe wie Kupfer, Magnesium, Titan, Verbundwerkstoffe, Glas, Papier und Stahl ersetzt werden. Nutzwert und Kosten variieren je nach Einsatzfeld.	mittel
Antimon	Antimon wird u.a. in verschiedenen Verwendungen in Bleibatterien, Flammenschutzmitteln, Beleiverbindungen eingesetzt. Auch in der Kunststoffindustrie spielt es eine Rolle. In zahlreichen Anwendungen existieren andere Rohstoffe als Substitute. Ausnahme ist der Einsatz in Flammenschutzmitteln, bei dem kein gleichwertiger Ersatz existiert. Das Gleiche gilt für den Einsatz von Antimon in Bleiverbindungen.	mittel
Blei	Blei hat in vielen Anwendungen Substitute (je nach Anwendung können Polymere, Aluminium, Eisen oder Zinn eingesetzt werden). Beim Einsatz in Akkumulatoren, Batterien und Loten existieren alternative Materialien.	mittel
Gold	Vollständig wiederverwertbar, kann in bestimmten Verwendungen durch Palladium, Platin oder Silber substituiert werden.	mittel
Kupfer	Kann nur in bestimmten Verwendungen durch andere Stoffe wie Aluminium, Titan, Stahl, Glasfaser oder Plastik ersetzt werden. Grund sind die besondere elektrische Leitfähigkeit und Wärmeleitfähigkeit des Materials. Entscheidungsgrundlagen für die Ersetzung sind in der Regel Performance-Aspekte und Kostenüberlegungen.	gering
Magnesium	In einigen Verwendungen Ersatz durch spezifische Materialien Aluminium, Kalziumkarbid oder Zink möglich. Magnesit und Magnesium können in ihren Haupt-Anwendungsfeldern nicht ohne erhebliche Performance-Einbußen und höhere Kosten ersetzt werden.	gering
Molybdän	Ist in bestimmten Eigenschaften/Verwendungen nicht bzw. mit höheren Kosten und geringerer Performance substituierbar.	gering
Nickel	Substitutionsmöglichkeiten (teilweise zu höheren Kosten und mit geringerer Performance) bestehen teilweise durch Aluminium, beschichtete Stähle, Plastik und Titanlegierungen.	mittel
Niob	Haupteinsatzfeld in Stahllegierungen, um die Härte zu erhöhen. Kann nur mit erheblichen Leistungseinbußen und Kostensteigerungen substituiert werden.	gering
Rhenium	Aufgrund hoher Kosten wurde in den letzten Jahren nach Möglichkeiten geforscht, den Einsatz von Rhenium in Legierungen zu verringern oder andere Materialien einzusetzen. Geringe Substitutionsmöglichkeiten beim Einsatz von Rhenium in Superlegierungen in Turbinen.	hoch
Rhodium	Kann teilweise durch Palladium ersetzt werden (Platingruppenmetalle sind in vielen Anwendungen nur untereinander austauschbar).	mittel
Ruthenium	Verwendung in vielen elektrischen Bauteilen und Produkten. In vielen Anwendungen ist eine Substitution durch andere Platingruppenmaterialien möglich.	mittel
Silizium	In zahlreichen Anwendungen existieren keine alternativen Materialien, das Silizium ohne erhebliche Verluste ersetzen kann.	gering
Vanadium	Substitution in Stahllegierungen ist prinzipiell möglich. Teilweise nicht substituierbar (etwa in Raumfahrtanwendungen). Der Grad der Substitution hängt von Preis und Verfügbarkeit möglicher Substitute wie Niobium ab.	mittel
Zink	In bestimmten Verwendungen Ersetzung durch andere Stoffe wie Aluminium, Plastik, Stahl oder Magnesium möglich. Dies trifft speziell auf Anwendungen in der chemischen Industrie und Elektronik sowie auf die Nutzung in Pigmenten zu.	mittel

Eigene Darstellung nach UNEP (2011a und b), European Commission (2020a und c), Graedel et al. (2011), Eurometaux und Eurofer (2012), sowie Expertengesprächen und Internetrecherchen.

Abb. 4.4.4: Bewertung des Recyclings von Rohstoffen mit hohem Risiko

Rohstoff	Recycling	Bewertung Recycling
Chrom	Hohe Recyclingquote von rostfreiem Stahl sowohl aus Post-Consumer-Abfällen als auch aus der Industrieproduktion. Legierungen werden auch zu einem hohen Anteil recycelt (in Form von Carbon Steel).	hoch
Dysprosium	Äußerst geringe Recyclingrate (unter 1%). Probleme liegen derzeit in nicht existierenden Sammelsystemen, hohen Kosten für den Aufbau eines Recyclings, technologischen Problemen und ökonomischer Sinnhaftigkeit.	gering
Gallium	Aus Post-Consumer-Abfällen wird gegenwärtig so gut wie kein Gallium Recycelt (lohnt sich wegen dem geringen Gallium-Anteil in den Bauteilen nicht). Jedoch geht ein hoher Anteil des in der Produktion als Rest verfügbaren Gallium in das Recycling ein.	gering
Germanium	Preiserhöhungen haben in den vergangenen 10 Jahren dazu geführt, dass das Recycling von Germanium aus Industrieabfällen ausgebaut wurde (30% der Produktion stammt aus Recycling), während durch die geringen Mengen in den Produkten ein Post-Consumer-Recycling nicht wirtschaftlich ist.	gering
Graphit	Recycling von Graphit aus End-of-Life-Produkten wird nur sehr begrenzt betrieben (u.a. Bremsklötze, Batterien, feuerfeste Materialien).	gering
Indium	So gut wie kein Recycling aus Post-Consumer-Abfällen in Deutschland. Rückgewinnungsverfahren aus der Herstellung von Flachbildschirmen sind im Producer-Bereich in Asien etabliert und spielen dort eine wichtige Rolle.	gering
Kobalt	Kobalt wird in erheblichem Maße recycelt (die End-of-Life-Recyclingrate liegt über 50%). Insbesondere durch die Sammlung von Batterien wurden die Potenziale hier erhöht.	mittel
Lithium	In den meisten Anwendungen wird Lithium stark dissipiert, sodass ein Recycling sehr schwer oder gar nicht möglich ist (Ausnahme: Batterien). Mittlerweile wurden erhebliche Recyclingkapazitäten aufgebaut.	mittel
Mangan	Der Anteil von Mangan, der aus Post-Consumer-Abfällen wiedergewonnen wird, wird auf etwas unter 10% geschätzt (vornehmlich aus Eisen oder Stahl bzw. aus Aluminium). Mangan kann zusätzlich aus der Produktion von Eisen und Stahl direkt wiederverwertet werden, das wird aber bislang zur sporadisch gemacht.	gering
Neodym	Geringer Recyclinganteil: Neodym wird zu minimalen Anteilen (weniger als 1%) aus Permanentmagneten in Post-Consumer-Abfällen zurückgewonnen. Zu dem Recycling aus Produktionsabfällen gibt es keine belastbaren Daten.	gering
Palladium	Recycling ist wegen des hohen Palladiumpreises attraktiv. Quellen sind neben Katalysatoren elektrische und elektronische Geräte sowie Abfälle aus der Produktion. Die End-of-Life-Recyclingrate ist mit knapp 30% relativ hoch, etwa die Hälfte des Palladiumbedarfs wird aus Recycling gedeckt.	hoch
Platin	Quellen für sekundäres Platin sind Autokatalysatoren und Schmuck (in geringerem Maße Elektronikschrott). Etwa 30% des Angebots besteht aus Recyclingmaterial. Der Sekundärrohstoff wird zu etwa 20% aus Produktionsabfällen und zu 80% aus Post-Consumer-Abfällen gewonnen. Insgesamt substituiert der Sekundärrohstoff weltweit 50% des primären Platins. Verluste während des Herstellungsprozesses sind gering.	mittel
Praseodym	Äußerst geringe Recyclingrate (unter 1%). Probleme liegen derzeit in nicht existierenden Sammelsystemen, hohen Kosten für den Aufbau eines Recyclings, technologischen Problemen und ökonomischer Sinnhaftigkeit.	gering
Scandium	Bislang existiert Recycling von Scandium nur in sehr begrenztem Ausmaß. Grund ist, dass der Rohstoff nur in sehr begrenztem Ausmaß eingesetzt wird (Nischenaktivität).	gering
Silber	Silber kann vollständig wiederverwendet werden. Gesamtrecyclingrate von Silber auf globaler Ebene für Post-Consumer-Abfälle zwischen 30 und 50%. Quellen: 80% Post Consumer Abfälle, ersetzt weltweit insgesamt 20-32% des Primärrohstoffeinsatzes). Im EoL-Recycling sehr unterschiedliche Recyclingraten (Fahrzeuge: 0-5%, Industrieanwendungen: 40-60%). Aufgrund hoher Dissipation ist der Einsatz möglicher Recyclingtechniken häufig nicht ökonomisch. Während des Produktionsprozesses keine nennenswerten Materialverluste.	mittel
Tantal	Ein Recycling aus Post-Consumer-Abfällen findet kaum statt; Ein Recycling von Kondensatoren (Hauptanwendungsgebiet von Tantal) wird nicht praktiziert. Recycling von Produktionsabfällen gehört zu den gängigen Verfahren (10-25% des Primärrohstoffes werden ersetzt). Darüber hinaus wird Tantal, u.a. in Deutschland, aus Zinnschlacken gewonnen und dadurch Primärrohstoffe eingespart.	gering
Titan	Wird seit langem recycelt und in der Metallindustrie und Herstellung von Superlegierungen eingesetzt (rund 20% des in der EU verarbeiteten Titans stammte 2016 aus Recyclingmaterial). Sowohl Neumaterial aus der Produktion als auch Gebrauchsabfälle werden recycelt. Die End-of-Life Recycling Rate liegt bei 19%.	mittel

Rohstoff	Recycling	Bewertung Recycling
Wolfram	Insgesamt hohe End-of-Life Recyclingrate (ca. 40%). Verschiedene Quellen existieren für Wolfram, neben der Verarbeitung von Materialien, die Niobium beinhalten auch End-of-Life-Produkte. Hohe Preise in den vergangenen Jahren haben zu verstärkten Recyclinganstrengungen geführt.	hoch
Yttrium	Es wird weder aus Post-Consumer- noch aus Produktionsabfällen zurückgewonnen.	gering
Zinn	Erhebliche existierende Recyclingaktivitäten, das Ausmaß variiert zwischen den verschiedenen Anwendungsfeldern. End-of-Life-Recyclingrate ca. 30%.	hoch

Eigene Darstellung nach UNEP (2011a und b), European Commission (2020a und c), Graedel et al. (2011), Eurometaux und Eurofer (2012), sowie Expertengesprächen und Internetrecherchen.

Abb. 4.4.5: Bewertung des Recyclings von Rohstoffen mit mittlerem Risiko

Rohstoff	Recycling	Bewertung Recycling
Aluminium	Unbegrenzt ohne Qualitätsverlust rezyklierbar. Etablierte Recyclingpfade und damit wichtige Sekundärrohstoffquelle, allerdings mit Recyclingquoten von über 90% kein geschlossener Kreislauf. Primärmaterial spielt dennoch wegen der zunehmenden Nachfrage eine wichtige Rolle.	hoch
Antimon	Das Recycling von Antimon hängt vom Einsatz des Rohstoffs ab. Das Recycling geht hauptsächlich auf das Recycling von Bleibatterien zurück. In der EU liegt die End-of-Life Recyclingrate bei ca. 30%. Beim Einsatz von Antimon in Kunststoff und bei Flammenschutzmitteln ist ein Recycling nicht möglich, da der Rohstoff zerstreut wird.	mittel
Blei	Etablierte Recyclingpfade und damit wichtige Sekundärrohstoffquelle, Blei hat eine der höchsten Recyclingraten aller verwendeten Rohstoffe. Der Anteil von Sekundärmaterial ist höher als bei Primärmaterial.	hoch
Gold	Insgesamt sehr gut rezyklierbar. In der Produktherstellung Recyclingquote von nahe 100%, bei Post-Consumer-Abfällen ca. 30%. Recyclingmaterial stammt zu über 80% aus Post-Consumer-Abfällen.	hoch
Kupfer	Kupfer lässt sich ohne Qualitätsverlust recyceln. Etablierte Recyclingpfade und damit wichtige Sekundärrohstoffquelle (Recyclingquoten von ca. 80%; Anteil an Sekundärrohstoffen (2010) in D. 43% des Kupfers).	hoch
Magnesium	Sekundäres Magnesium macht international einen erheblichen Anteil des Magnesiumeinsatzes aus. EU-weit wird ein erheblicher Teil des Magnesiums in End-of-Life-Anwendungen im Post-Consumer-Bereich recycelt (End-of-Life Recycling Rate: 13%). Von Industrieabfällen aus der Produktion wird ein großer Teil recycelt.	mittel
Molybdän	Recyceltes Molybdän wird in der Produktion von Stahl (etwa bei rostfreiem Stahl) eingesetzt. Etwa ein Viertel des produzierten Molybdäns stammt aus Recycling (sowohl aus der Industrieproduktion - ca. 2/3 des Recyclingmaterials - als auch aus dem Post-Consumer-Recycling von dem ca. 10% recycelt werden).	mittel
Nickel	Kann ohne Qualitätsverlust recycelt werden; derzeit existieren bereits erhebliche Recyclingkapazitäten, die insbesondere zum Einsatz in der Metallindustrie führen. Die End-of-Life-Recyclingrate wird auf ca. 17% geschätzt.	mittel
Niob	Ein hoher Anteil des Inputs stammt aus der Produktion von Eisen und Stahl (die End-of-Life-Recyclingrate liegt bei ca. 50%). Jedoch ist das funktionelle Recycling aus Altmaterial vernachlässigbar.	gering
Rhenium	Hoher Anteil des eingesetzten Rheniums stammt aus Recycling (End-of-Life-Recyclingrate über 50%). Quellen: Turbinenblätter, Produktionsabfälle und Katalysatoren. Zunahme des Recyclinganteils im Zeitablauf durch Preiserhöhungen getriggert.	hoch
Rhodium	Attraktives Recycling wegen eines hohen Preises. Vergleichsweise hohe Recyclingraten (zwischen 50 und 60%, End-of-Life-Recyclingrate ca. 30%). Quellen sind hauptsächlich Katalysatoren der Automobilindustrie, Nebenprodukte aus der Produktion und Produktionsabfälle.	hoch
Ruthenium	Recycling ist bereits eine wichtige Rohstoffquelle bei Ruthenium. Hauptquellen für Sekundärmaterial sind End-of-Life-Produkte, Nebenprodukte aus der Produktion und Produktionsabfälle (Hauptquelle: Prozesskatalysatoren).	mittel
Silizium	Es existiert nur ein kleiner Markt für recyceltes Silizium. Aus End-of-Life-Anwendungen wird so gut wie kein Silizium wieder verwendet.	gering
Vanadium	Geringer Recyclinganteil gemessen am End-of-Life Recycling (wichtigste Recyclingquellen sind Stahlabfälle und chemische Prozesskatalysatoren). Neuabfälle werden in Form von Vanadiumhaltigen Metallabfällen wiederverwertet.	gering
Zink	Erhebliche Recyclingaktivitäten (End-of-Life Recyclingrate: ca. 30%): Etablierte Recyclingtechnologien existieren für alle primären Anwendungsfelder. Häufig werden dabei unmittelbar Zinkverbindungen erzeugt, die weiter genutzt werden.	hoch

Eigene Darstellung nach UNEP (2011a und b), European Commission (2020a und c), Graedel et al. (2011), Eurometaux und Eurofer (2012), sowie Expertengesprächen und Internetrecherchen.

Abb. 4.4.6: Bewertung des Recyclingpotenzials von risikobehafteten Rohstoffen

Rohstoff	Recycling	Bewertung Recyclingpotenzial
Chrom	Bereits etablierte Recyclingwege, geringes weiteres Potenzial.	gering
Dysprosium	Potenziale sind prinzipiell vorhanden, jedoch befinden sich Rückgewinnungsverfahren noch in der Entwicklungsphase. Voraussetzung ist ein kostenintensiver Aufbau von Sammel- und Recyclingsystemen.	mittel
Gallium	Aufgrund hoher potenzieller Kosten einer Ausweitung des Recyclings eher geringes Potenzial.	gering
Germanium	Hohe Dispersion verhindert Ausbau des Post-Consumer-Recycling.	gering
Graphit	Kein ökonomischer Anreiz wegen hoher natürlicher Vorkommen.	gering
Indium	Recyclingverfahren befinden sich im Anfangsstadium (Recyclingverfahren von ITO Flachbildschirmen befinden sich in Deutschland im Entwicklungsstadium, im Raum Asien sind aber bereits Verfahren in der Anwendung).	mittel
Kobalt	Erhebliches zukünftiges Potenzial für die Ausweitung des Recyclings, insbesondere aus Kfz-Batterien. Das betrifft insbesondere die mittelfristige Perspektive.	hoch
Lithium	Erhebliches zukünftiges Potenzial durch Ausbau der Elektromobilität.	hoch
Mangan	Recyclingpotenziale für Mangan besteht in Zukunft insbesondere aus dem Recycling von Autobatterien.	hoch
Neodym	Potenziale vorhanden, jedoch befinden sich Rückgewinnungsverfahren noch in der Entwicklungsphase. Voraussetzung ist ein kostenintensiver Aufbau von Sammel- und Recyclingsystemen.	mittel
Palladium	Hohe potenzielle Recyclingeffizienz, was die technischen Verfahren anlangt. Eine höhere Effizienz der Sammlung/ des Recyclings im Posts-Consumer-Bereich würde eine Erhöhung des Recyclinganteils erlauben.	mittel
Platin	Wie bei Palladium hocheffizientes Recycling möglich. Die Erhöhung der Recyclingquote ist durch aufwändige zusätzliche Sammelanstrengungen möglich.	gering
Praseodym	Potenziale vorhanden, jedoch befinden sich Rückgewinnungsverfahren noch in der Entwicklungsphase. Voraussetzung ist ein kostenintensiver Aufbau von Sammel- und Recyclingsystemen.	gering
Scandium	Potenziale vorhanden, speziell aus Automobilkatalysatoren, Brennstoffzellen und Aluminium-Scandium-Legierungen.	mittel
Silber	Gewisse Potenziale (Rückgewinnung aus Elektroschrott, z.B. Leiterplatten).	mittel
Tantal	Recyclingverfahren befinden sich im Anfangsstadium. Recycling erfordert Vorbehandlung (Trennung von Kondensatoren und Leiterplatten).	mittel
Titan	In Zukunft wird das Recycling nur einen kleinen Teil der stark steigenden Nachfrage decken können. Gleichzeitig sind derzeit die weiteren Recyclingpotenziale gering einzuschätzen.	gering
Wolfram	Weitere Potenziale vorhanden.	mittel
Yttrium	Potenziale vorhanden, jedoch befinden sich Rückgewinnungsverfahren noch in der Entwicklungsphase. Voraussetzung ist ein kostenintensiver Aufbau von Sammel- und Recyclingsystemen (insb. aus Energiesparlampen möglich).	mittel
Zinn	Eher geringes Potenzial durch bereits etablierte Technologien.	gering

Eigene Darstellung nach UNEP (2011a und b), European Commission (2020a und c), Graedel et al. (2011), Eurometaux und Eurofer (2012), sowie Expertengesprächen und Internetrecherchen.

Abb. 4.4.7: Bewertung des Recyclingpotenzials von Rohstoffen mit mittlerem Risiko

Rohstoff	Recyclingpotenzial	Bewertung Recyclingpotenzial
Aluminium	Begrenztes weiteres Potenzial durch bereits etablierte Recyclingpfade.	gering
Antimon	Bei Antimon existiert ein Recyclingpotenzial, das sich hauptsächlich auf die Verbrennung von Schlacke aus der Verbrennung von Kunststoff bzw. Flammschutzmitteln bezieht. Jedoch ist dies gegenwärtig nicht ökonomisch durchführbar.	gering
Blei	Begrenztes Potenzial wegen bereits etablierter Recyclingpfade.	gering
Gold	Das Recyclingpotenzial noch nicht ausgeschöpft. Bei Rückgewinnung aus Leiterplatten positiver Einfluss auf Recyclingeffizienz durch manuelle Vorbehandlungsverfahren gegenüber mechanischer Vorbehandlung (bis zu 90% der Edelmetalle können zurückgewonnen werden). Nach Verfahren, um Metalle effektiver aus Elektroschrott zu separieren wird geforscht. Bei Rückgewinnung aus Kupfer (u.a. aus Elektroschrott) können Edelmetalle als Nebenprodukte recycelt werden.	mittel
Kupfer	Begrenztes Recyclingpotenzial durch bereits etablierte Recyclingpfade.	gering
Magnesium	In zahlreichen End-of-Life- Anwendungen wie auch beim Recycling von Neuschrott ist eher kein zusätzliches Potenzial vorhanden. In anderen Anwendungen wie dem End-of-Life-Recycling von Schredderschrotten und Magnesiumschrotten für die Produktion von Strukturbauteilen ist ein Recycling derzeit nicht ökonomisch darstellbar.	gering
Molybdän	Weiteres Potenzial vorhanden, aber nur in dem Fall, dass der Preis steigt, sodass Sekundärmaterial relativ attraktiver wird.	hoch
Nickel	In bestehenden Anwendungen begrenztes Recyclingpotenzial durch bereits etablierte Recyclingpfade. Ausweitung ist aber durch das Batterierecycling zu erwarten.	hoch
Niob	Potenziale existieren in Form von Abraumhalden von Minen (erste Anwendungen in Spanien). Diese Art des Recyclings ist für Deutschland aber nicht relevant.	gering
Rhenium	Kostengünstige Möglichkeiten des Recyclings wurden bereits realisiert.	gering
Rhodium	Begrenzte Potenziale, da kostengünstige Recyclingmöglichkeiten bereits realisiert wurden.	gering
Ruthenium	Existierendes Potenzial aus dem Recycling von Elektroden, wobei ein erheblicher Teil bei der Verwendung verloren geht. Der Anteil des Rutheniums, der gehoben wird, hängt vom jeweiligen Preis ab.	mittel
Silizium	Es existieren vielversprechende Ansätze, um in Zukunft ein Recycling von Silizium zu ermöglichen. Das betrifft beispielsweise das Recycling aus dem Sägestaub bei der Herstellung von Photovoltaik-Anlagen und von Ausgedienten Photovoltaik-Modulen.	hoch
Vanadium	In der EU einige Bemühungen zum Recycling von Vanadium. Noch erhebliche Potenziale vorhanden.	hoch
Zink	Geringes Potenzial dadurch, dass bereits zahlreiche Technologien etabliert sind.	gering

Eigene Darstellung nach UNEP 2011 (a, b), European Commission (2020a und c, Graedel et al. (2011), Eurometaux, Eurofer (2012), Expertengespräche, Internetrecherchen.

Konsequenzen für NRW

Aus der Analyse lassen sich für NRW folgende Schlüsse ziehen: Zunächst ist die Substituierbarkeit von Materialien vornehmlich ein anwendungsbezogenes Phänomen, sodass mangelnde Substituierbarkeit ein branchen- und unternehmensspezifisches Problem ist, das sich nicht auf die Ebene einzelner Rohstoffe verallgemeinern lässt.

Recycling von Rohstoffen ist ein wichtiger Ansatzpunkt für die Verringerung der Abhängigkeit von Rohstoffen, der in Zukunft aufgrund steigender Risiken hinsichtlich der Verfügbarkeit (politische Unsicherheiten und neue Rohstoffbedarfe) und verfügbarer und sich weiter entwickelnder Recyclingtechnologien an Bedeutung gewinnen wird.

Das Recyclingpotenzial einzelner Rohstoffe in NRW hängt weniger vom Rohstoff selbst als von der Existenz von Recyclingsystemen mit entsprechenden verfügbaren Recyclingtechnologien ab. Das hat die Gegenüberstellung der Recyclingpotenziale verschiedener Rohstoffe klar aufgezeigt. Daher ist es auch konsequent, dass im Folgenden in Fallstudien Recyclingsysteme betrachtet werden, die in Hinblick auf das Recycling von für die NRW-Industrie zentralen Rohstoffen eine große Bedeutung haben werden.

4.5 Fallstudie: Recycling von Kunststoffverpackungen

In dieser Fallstudie wird untersucht, wie der Weg in Richtung Kreislaufwirtschaft in verschiedenen Recyclingsystemen aussieht. Dabei sollen weniger die bestehenden oder künftigen Systeme ausführlich beschrieben werden. Dies ist im Rahmen verschiedener Studien an anderer Stelle schon gemacht worden. Es geht vielmehr darum, wie der Weg in Richtung Kreislaufwirtschaft aussieht, welche Herausforderungen und Potenziale dabei existieren und welche Trade-Offs bei der Umsetzung eines effizienten Recyclingsystems bestehen. Die Diskussion führt somit die eher allgemeinen Betrachtungen in den vorherigen Abschnitten mit einem Fokus auf spezifische, teilweise unterschiedlich funktionierende Systeme fort.

Mit dem Dualen System wurden 1991 über die haushaltsnahe Sammlung und Entsorgung von gebrauchten Verkaufsverpackungen (auch Post-Consumer-Leichtverpackungen genannt, kurz Post-Consumer-LVP) die Voraussetzungen geschaffen, eine Kreislaufwirtschaft im Bereich der Kunststoffverpackungen zu realisieren. Die Verpackungsverordnung (VerpackV; BMJV 2017), die 1991 in Kraft trat, führte zu der Verpflichtung der Wirtschaft, in Umlauf gebrachte Verkaufsverpackungen wieder zurück zu nehmen und für deren Verwertung zu sorgen. Im Laufe der Jahre wurden im Zusammenhang mit dem Dualen System zahlreiche Erfahrungen mit der Umsetzung eines regulativen Rahmens in der Abfallwirtschaft gesammelt.

Im Rahmen dieser Fallstudie wird gezeigt, inwieweit das Duale System zu einer Realisierung des Konzepts der Kreislaufwirtschaft beiträgt, welche Hemmnisse es noch gibt und was zu tun wäre, um in Zukunft eine Kreislaufwirtschaft im Bereich des Recyclings von Kunststoffverpackungen zu realisieren. Vor diesem Hintergrund untersucht diese Fallstudie den Stand des Recyclings von Kunststoffverpackungen, die Funktionsweise des Dualen Systems und die dahinterliegenden Wirkungsweisen. Hierzu werden auch die Wirkungen des am 1. Januar 2019 in Kraft getretenen Verpackungsgesetzes (VerpackG; BMVJ 2021) diskutiert und gezeigt, welchen positiven Einfluss dieses Gesetz zwar hat, warum aber weitere Schritte zur Umsetzung des Konzepts einer Kreislaufwirtschaft folgen müssen. Darauf aufbauend wird beleuchtet, welche Zukunftspotenziale das Kunststoffrecycling bis 2030 aufweist, wie das Kunststoffrecycling in NRW aufgestellt ist und welche Handlungsoptionen für die künftige Umsetzung der Kreislaufwirtschaft bestehen.

Entwicklung und Stand des Recyclings von Kunststoffverpackungen

Das Recycling von Kunststoffverpackungen verteilt sich auf verschiedene Marktsegmente. Neben dem Recycling von Verkaufsverpackungen existiert schon seit längerem ein funktionierender Markt für Industrieabfälle aus Kunststoffen. Diese sind durch eine insgesamt hohe Sortenreinheit gekennzeichnet und lassen sich in der Regel sehr gut recyceln. Für einen

Teil der Verkaufsverpackungen – den Getränkeflaschen aus Polyethylenterephthalat (PET) - wurde durch das Pfandsystem bei Plastikflaschen ein Markt für recyceltes PET aus Kunststoffflaschen etabliert. Dieses Recycling funktioniert insgesamt aufgrund der hohen Qualität des PET-Materials sehr gut. Jedoch stellt sich die Frage, warum dies hochwertige Material teilweise in minderwertigen Recyclinganwendungen verwertet wird (Aussage aus einem der Expertengespräche).

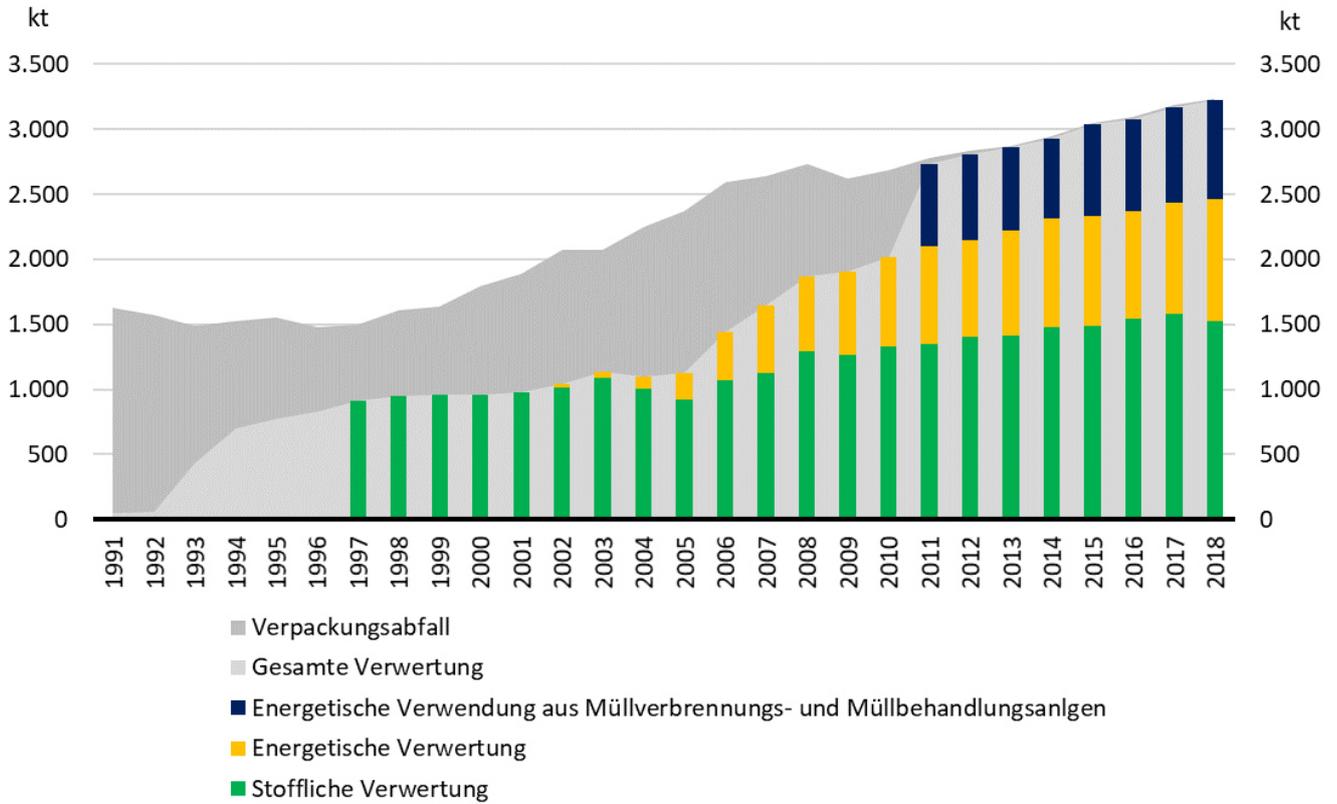
Der Großteil der Verkaufsverpackungen aus Kunststoff wird jedoch im Rahmen des Dualen Systems in der gelben Tonne oder im gelben Sack gesammelt und nach der Aufbereitung in Sortieranlagen dem Recycling zugeführt. Bezogen auf das Abfallaufkommen von Kunststoffverpackungen betrug der Anteil der durch das Duale System erfassten und stofflich verwerteten Verkaufsverpackungen im Jahr 2018 gut 47% (Abb. 4.5.1). Die verbleibenden rund 53% verließen den Recyclingkreislauf und wurde energetisch verwertet.

Die Etablierung des Dualen Systems hat sich auf die Entwicklung des Marktes für Sekundärkunststoff und damit auf die Menge der verwerteten Kunststoffverpackungen ausgewirkt. Bis Mitte der 1990er Jahre führte dies zu einem deutlichen Anstieg der verwerteten Kunststoffmenge. Die Verwertungsmenge stagnierte dennoch bis Mitte der 2000er-Jahre, da sich zunächst eine entsprechende Recyclingwirtschaft etablieren musste. Der technische Fortschritt – insbesondere die Einführung der automatisierten Sortierung – sowie die Öffnung des Marktes für Wettbewerber im Rahmen des Dualen Systems trugen dann ab Mitte der 2000er-Jahre zu einer kontinuierlichen Erhöhung der stofflichen Kunststoffverwertung bei. 2005 setzte auch die energetische Kunststoffverwertung verstärkt ein. Hierzu trug das Deponierungsverbot bei, aufgrund dessen zuvor deponierte Kunststoffabfälle in Müllverbrennungsanlagen (MVA) oder mechanisch-biologischen Abfallbehandlungsanlagen (MBA) entsorgt wurden. Bis 2002 wurde ein Teil der Kunststoffabfälle in MVA entsorgt, ohne dass deren energetisches Potential genutzt wurde. Von 2003 bis 2010 wurde dieses dann zwar besser genutzt, diese Art der Verwertung jedoch statistisch noch nicht als energetische Verwertung erfasst. Erst seit 2011 werden diese Anlagen ebenfalls der energetischen Verwertung zugerechnet. Die Kunststoffabfälle werden heute somit zu nahezu 100% verwertet, je etwa zur Hälfte stofflich und energetisch.

Bei der Entwicklung von Innovationen bestehen häufig erhebliche Unsicherheiten hinsichtlich möglicher Potenziale und Grenzen des Fortschritts. Die Entwicklung der Recyclingtechnologien – nicht nur im Kunststoffbereich – wird zudem maßgeblich durch institutionelle Rahmenbedingungen bestimmt. Die Wechselwirkungen zwischen Änderungen der rechtlichen Rahmenbedingungen, der Technologieentwicklung und den Marktentwicklungen im Zeitablauf zeigt Abbildung 4.5.2.¹³

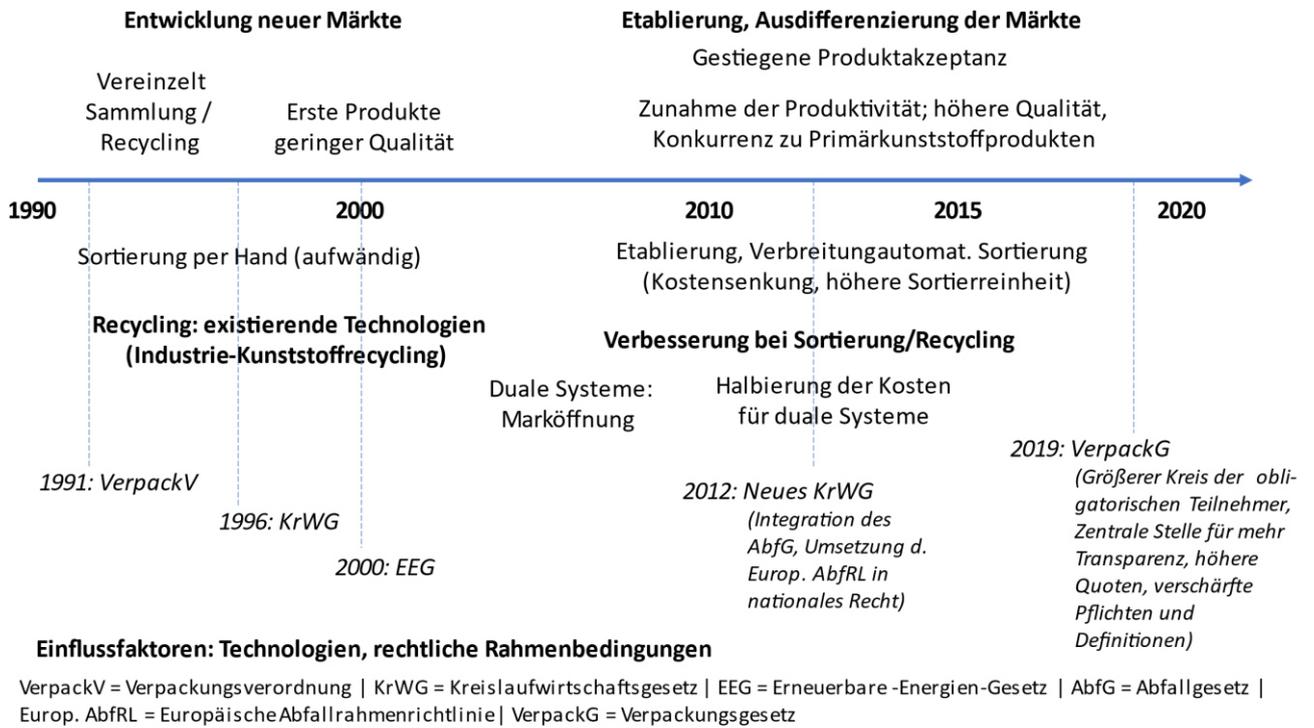
¹³ Die Entwicklung der Märkte und Rahmenbedingungen wurde auf der Basis von Internetrecherchen nachgezeichnet.

Abb. 4.5.1: Entwicklung des Kunststoffrecyclings in Deutschland



Eigene Berechnungen nach Schüler (2020).

Abb. 4.5.2: Entwicklung von Technologien und Märkten im Zeitverlauf



Eigene Darstellung.

Der Markt für Post-Consumer-LVP hat in den letzten gut 30 Jahren eine erhebliche Ausdifferenzierung erfahren. Vor der Einführung des Dualen Systems gab es zwar bereits Aktivitäten zur Sammlung und zum Recycling von Post-Consumer-LVP, sie waren jedoch nur unsystematisch und die recycelten Kunststoffmengen waren nur gering. In den Anfangsjahren wurde – gemessen an den Lizenzeinnahmen des Dualen Systems – mit hohem Aufwand ein Recyclingsystem aufgebaut. Erste Produkte aus recyceltem Kunststoff waren von geringer Qualität. Ein funktionierender Markt für recycelten Kunststoff konnte sich daher erst nach und nach etablieren. Anfang der 1990er Jahre wurden Kunststoffabfälle ausschließlich und mit hohem Aufwand manuell sortiert. Im Ergebnis bestand der Output aus nur wenigen Kunststoffarten in geringer Sortenreinheit (Bosewitz 2013: 30-31). Erst der technische Fortschritt bei der Trennung der Abfälle – insbesondere die automatische Trennung und Sortierung ab dem Jahr 2000 – führte zu erheblichen Effizienzverbesserungen, brachte eine höhere Sortenreinheit bei den Regranulaten hervor und ermöglichte ein breiteres Spektrum für deren Einsatz sowie die Verwendung von Sekundärkunststoffen in neuen Produkten.

Bis dahin wurde ein großer Teil der Post-Consumer-LVP nach Fernost exportiert. Derzeit wird die Technik durch die Nutzung computergestützter Sensoren weiter optimiert. Hierdurch lässt sich der Anteil der Sortierreste weiter verringern und die Qualität der resultierenden Ballenware erhöhen. Eine hohe Qualität und ausreichende Verfügbarkeit dieses Outputs aus dem Sortierprozess ist Voraussetzung für weitere Innovationen in der Herstellung von qualitativ hochwertigen Regranulaten, mit denen sich weitere Anwendungsfelder für den Einsatz von Sekundärkunststoff erschließen lassen. Neben dem technologiebasierten Entwicklungsprozess wurde und wird der Markt auch durch eine höhere Akzeptanz von und steigende Nachfrage nach Regranulaten vor allem durch Unternehmen der kunststoffverarbeitenden Industrie getragen. Auf dieser Nachfrageseite sind aber neben hoher Qualität und ausreichender Verfügbarkeit auch die Eigenschaften der Regranulate wie z.B. der Geruch von Bedeutung. Weitere Innovationen bei den physikalischen Eigenschaften sind hier von großer Bedeutung für die weitere Entwicklung des Kunststoff-Recyclings in Richtung eines geschlossenen Kreislaufs.

Neben den Qualitätsanforderungen an den Output des Verwertungsprozesses werden Innovationen in Recyclingtechnologie und die Entwicklung des Marktes für Rezyklate und Produkte aus Sekundärkunststoff auch durch institutionelle Rahmenbedingungen beeinflusst. Die verbindlichen Verwertungs- und Recyclingquoten der Verpackungsverordnung (VerpackV) bzw. ihres Nachfolgers, des Verpackungsgesetzes (VerpackG) sind der zentrale Aspekt für Innovationen in Trennung und Sortierung von Kunststoffabfällen, da sie ausschlaggebend für Menge und Qualität der Regranulate sind. Einen wichtigen Impuls erfuh der Recyclingmarkt ab 2003 durch die

Öffnung des Dualen Systems. Bis dahin gab es neben einzelnen Branchenlösungen als einzigen sogenannten Systembetreiber die *Duales System Deutschland GmbH (DSD)*; mittlerweile sind bereits zehn weitere Systembetreiber auf dem Markt (Hesselmann Service GmbH 2021). Durch diese Marktöffnung wurde der Wettbewerb gestärkt, was beispielsweise für die Hersteller von Verpackungen, die verpflichtet sind, am Dualen System teilzunehmen, zu niedrigeren Kosten für ihre Beteiligung (Lizenzentgelten) geführt hat.

Nach Inkrafttreten der VerpackV 1991 wurde die Entwicklung des Recyclingmarktes direkt und indirekt durch verschiedene rechtliche Regelungen gelenkt. So wurde 2003 ein Pflichtenpfand auf kohlenstoffhaltige Getränke eingeführt; seit Mai 2006 gilt ein einheitliches Pfandsystem, das zur getrennten Sammlung für pfandpflichtige PET-Flaschen geführt hat. Mit dem Kreislaufwirtschaftsgesetz (KrWG) gab es eine Priorisierung von Müllvermeidung und Recycling vor anderen Verwertungswegen. Seine Umsetzung in der VerpackV hat zu neuen Rahmenbedingungen geführt, die das Markt- und Innovationsgeschehen im Recyclingmarkt stark beeinflusst haben.

Eine weitere Determinante des Marktes für Post-Consumer-Regranulate sind die Interdependenzen zwischen den Märkten für Primär- und Sekundärkunststoff. Hier spielt die Qualität der Ausgangsstoffe für die Herstellung von Kunststoffprodukten (Primär- bzw. Sekundärkunststoff) eine wichtige Rolle. Gegenüber Sekundärkunststoff wird Primärkunststoff zu einem etwa 40% höheren Preis gehandelt. Mittelfristig korreliert dabei der Preis für Primärkunststoff eng mit dem für Rohöl, was eine hohe Preisvolatilität zur Folge hat. Sinken die Primärkunststoffpreise unter das Niveau der Preise für Sekundärkunststoff, kommt es oftmals zur Substitution von Sekundär- durch Primärkunststoff.

Rückblickend hat das Kunststoffrecycling im Rahmen des Dualen Systems eine positive Entwicklung erfahren. Dennoch gibt es weiteres Potenzial für Effizienzverbesserungen (Herrmann et al. 2021: 5). Mit der Novelle des VerpackG, die am 3. Juli 2021 in Kraft getreten ist, erhöhen sich nicht nur die zu erreichenden Quoten, sondern auch die Bedingungen für Unternehmen, die Verpackungen für ihre Waren nutzen, werden präzisiert und verschärft. Die strengeren Rahmenbedingungen für das Kunststoffrecycling im Dualen System werden zu deutlich steigenden Lizenzmengen führen. Sie stellen zudem höhere Anreize dar, die vorhandenen technischen Potenziale auszuschöpfen bzw. weiter zu entwickeln, die Qualität des Verwertungsausputs zu erhöhen und so die Einsatzmöglichkeiten für Sekundärkunststoff aus Post-Consumer-LVP zu erweitern. In dem Maße, wie es gelingt, Sekundärkunststoff in einer Qualität herzustellen, die der von Primärkunststoff nicht nachsteht und diese Regranulate auch preislich attraktiv genug sind, kann Sekundärkunststoff auch den Rohstoff Erdöl in der Kunststoffherstellung signifikant substituieren.

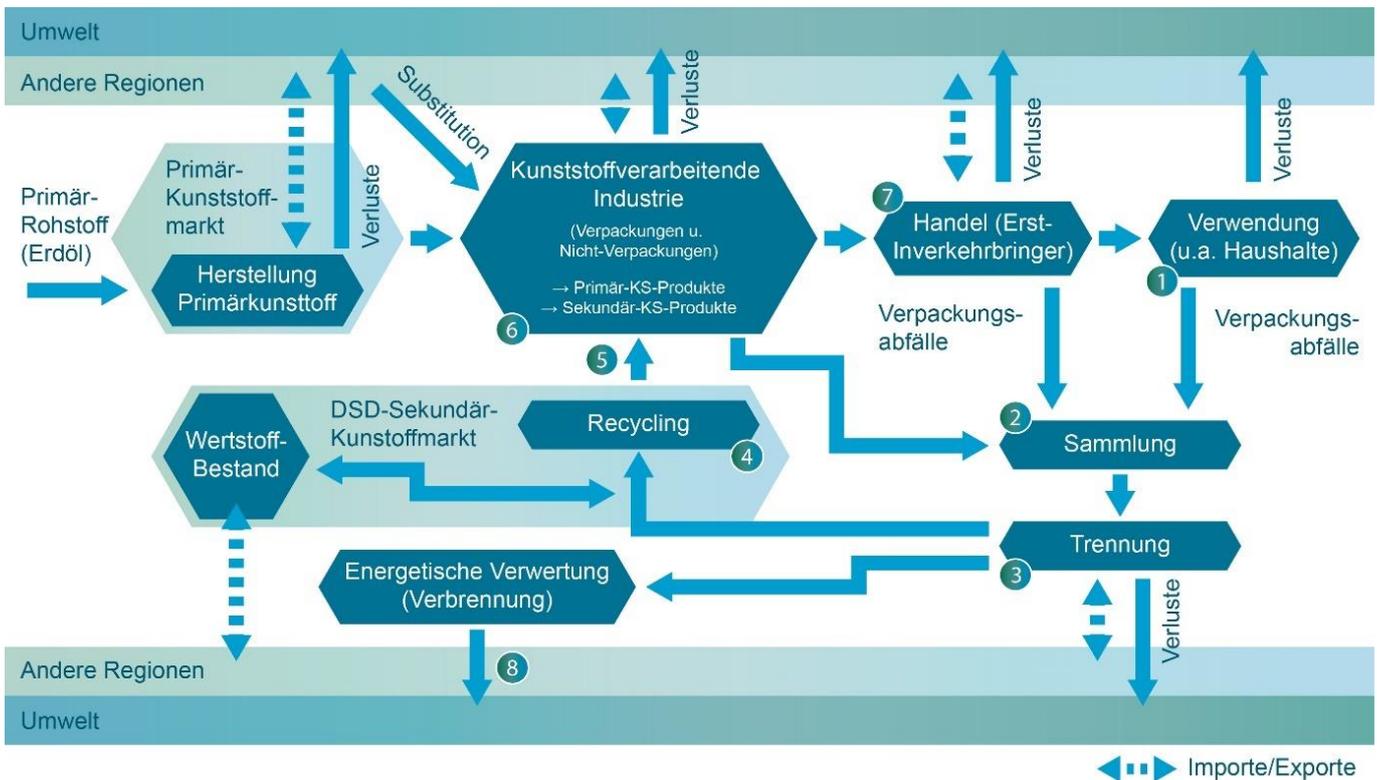
Funktionsweise und Wirkungsmechanismen des Kunststoffrecyclings im Rahmen des Dualen Systems

Die Einführung des Dualen Systems hat für Kunststoffverpackungen zu einem interdependenten Recyclingsystem mit unterschiedlichen Akteuren geführt. Nach Auswertung von Expertengesprächen werden die Zusammenhänge zwischen den einzelnen Elementen dieses Systems in Abbildung 4.5.3 wiedergegeben. Die Positionen 1 bis 4 umfassen den Bereich, der durch das Duale System mit dem Ziel abgedeckt wird, die Verwertung von Kunststoffverpackungsabfällen zu organisieren.

Die bei den privaten Haushalten (bzw. den ihnen gleichgestellten Endverbrauchern) anfallenden Verpackungsabfälle werden von einem der Systembetreiber des Dualen Systems über die Gelbe Tonne bzw. über den gelben Sack eingesammelt (Pos. 1).

Diese getrennte Sammlung verringert die Menge der übrigen Haushaltsabfälle, die über die graue Tonne von kommunalen Entsorgungsbetrieben eingesammelt werden. Da die Sammlung über die gelbe Tonne für Haushalte kostenlos ist, verringert sie die Entsorgungskosten über die graue Tonne.

Abb. 4.5.3: Gesamtsystem des Kunststoffrecyclings im Rahmen des Dualen Systems



Eigene Darstellung.

Ausschlaggebend für die Menge und Qualität der gesammelten Post-Consumer-LVP sind einmal das Wissen der Haushalte über das Duale System und ihre Motivation sowie Anreize zur Abfalltrennung, aber auch die Verfügbarkeit von Sammelsystemen. Ein weiterer Aspekt, der zunehmend an Bedeutung gewinnt, ist der Aufbau der Verpackungen, die maßgeblich deren spätere Recyclingfähigkeit prägt. Problematisch ist hier der wachsende Anteil an Verbundverpackungen, die aus mehreren Kunststoffarten/-schichten bestehen. Wenn überhaupt, lassen sie sich nur schwer und mit zusätzlichem Kostenaufwand verwerten.

entscheidend für den weiteren Recyclingprozess. Aus technischer Sicht bestimmt die Qualität dieses Behandlungsschritts die Sortenreinheit und Zusammensetzung der einzelnen Fraktionen aus der Sortierung. Hierbei spielen für die Unternehmen auch wirtschaftliche Aspekte eine Rolle. Ein Teil der Kunststoffverpackungen ist von minderer Qualität (z.B. dünne Folien, Verbundverpackungen) und kann wirtschaftlich nicht wiederverwertet werden. Diese Fraktion verlässt nach der Trennung den Recyclingkreislauf und wird durch Verbrennung energetisch verwendet (Position 8). Das Ergebnis der Trennung der gesammelten Kunststoffverpackungen entscheidet, ob die rechtlich vorgegebenen Quoten erreicht werden.

Die gesammelte Menge an Verpackungen (Erfassungsmenge) bestimmt die Wertstoffmenge, die im weiteren Prozess verwertet werden kann und damit die Menge und Qualität der Regranulate (Position 2). Die Technologien der Vorbehandlung durch Trennung und Sortierung (Position 3) sind

Die sortierten Wertstoffe gehen als Ballenware an Recyclingunternehmen, die sie zu Regranulaten verarbeiten. Diese treten dann als Sekundärkunststoffe für die Herstellung neuer

Produkte auf den Markt und werden von der kunststoffverarbeitenden Industrie nachgefragt (Positionen 4 und 5). Die hier angebotenen Regranulate¹⁴ stammen neben Post-Consumer-LVP auch aus industriellen Kunststoffresten¹⁵ mit hohem Reinheitsgrad oder gewerblichen Abfällen. Außerdem umfasst das Angebot auch den Output aus anderen Recyclingprozessen wie dem von PET.

Die kunststoffverarbeitende Industrie nutzt für die Herstellung von Volumenkunststoffen, die für Leichtverpackungen verwendet werden, erst zu einem geringen Teil Sekundärkunststoffe (Position 6). Die Gründe dafür sind in erster Linie hohe rechtliche Anforderungen für die Verpackung von Lebensmitteln mit Recyclingkunststoffen (Europäische Kommission 2008). Verglichen mit Produkten aus Primärkunststoffen ist die Qualität von Recyclingprodukten z.B. hinsichtlich physikalischer Eigenschaften, Geruch und Farbkonsistenz auch in vielen anderen Bereichen immer noch geringer, wenngleich hier in der Vergangenheit große Fortschritte erzielt wurden. Es kommt daher nur in geringem Maße zur Substitution von Primärkunststoff. Außerdem bestehen bestimmte Anforderungen an einen Produktionsprozess, bei dem Regranulat aus Post-Consumer-LVP zum Einsatz kommen soll, die ein entsprechendes Wissen über Materialeigenschaften und Besonderheiten der Verarbeitung solcher Regranulate erfordern.

Die Nachfrage der kunststoffverarbeitenden Industrie nach Recyclingmaterialien gliedert sich in unterschiedliche Segmente, die durch den Preis für Sekundärkunststoffe voneinander abgegrenzt sind. Das obere Marktsegment bilden Sekundärkunststoffe hoher Qualität, die Primärkunststoffe preislich unterbieten und sie substituieren können. In diesem Segment reagiert die Nachfrage hoch sensitiv auf Schwankungen des Rohölpreises. Im unteren Segment werden Mischkunststoffe von eher geringer Qualität für die Herstellung einfacher Produkte nachgefragt. Hier können die Sekundärkunststoffe preislich nur mit einfachen Ausgangsstoffen z.B. auf Holzbasis konkurrieren. Zwischen diesen beiden Marktsegmenten finden andere Kunststofffraktionen ihre Abnehmer. Je nach Anwendungsbereich werden hier unterschiedliche Anforderungen an die Qualität des Materials gestellt, was sich in unterschiedlichen Preisen widerspiegelt. Ein anderer Aspekt bei der Nachfrage nach Recyclingkunststoffen resultiert aus Unternehmensstrategien, die sich immer häufiger an nachhaltigem Wirtschaften orientieren. Vor diesem Hintergrund werden bei der Nachfrage nach Sekundärkunststoffen auch preisliche Kompromisse eingegangen, solange qualitativen Anforderungen erfüllt werden.

Für den Recyclingmarkt relevant ist auch die Nachfrage nach Produkten und Verpackungen aus Sekundärkunststoffen. Ausschlaggebend ist die Akzeptanz dieser Produkte sowohl bei privaten Endverbrauchern wie auch bei Unternehmen. Je nachdem in welchem Umfang Produkte aus Sekundärkunststoffen wieder als Verpackungsmaterial verwendet werden, gelangen sie über Unternehmen, die ihre Waren damit verpacken – die sogenannten Erstinverkehrbringer von Verpackungen – erneut zu den privaten Endverbrauchern (Position 7). Zu einem geschlossenen Kreislauf von Kunststoffverpackungen – vergleichbar dem von Metallen wie Aluminium – kommt es aber nur, wenn Sekundärmaterial Primärkunststoff in der Verpackungsherstellung ersetzt. Werden aus den wiedergewonnenen Regranulaten dagegen geringwertigere Verpackungen hergestellt, setzt eine qualitative Abwärtsspirale ein, an deren Ende die energetische Verwertung steht. Dennoch trägt das Recycling von Kunststoffverpackungen im Rahmen des Dualen Systems auch zur Substitution des Rohstoffs Mineralöl bei.

Wirkungen des Verpackungsgesetzes

Das VerpackG trat am 1. Juli 2021 in novellierter Form in Kraft¹⁶. Auf der Verbraucherseite hat das VerpackG das Ziel, das Recycling und die Vermeidung von Verpackungsabfällen stärker zu fördern. Neben einer Steigerung der verwerteten Verpackungsabfälle sollen Anreize zur Verwendung ökologisch vorteilhafter und recyclingfähiger Verpackungen gegeben werden. Auf Herstellerseite will das VerpackG sicherstellen, dass alle Verpackungen von sämtlichen Herstellern, Handelsunternehmen und Importeuren, einschließlich den Betreibern elektronischer Marktplätze, die mit Ware befüllte Verpackungen in den Verkehr bringen – den sogenannten Erstinverkehrbringern – erfasst und die Verpackungen nach Gebrauch verwertet werden. Im Gegensatz zur VerpackV bezieht das VerpackG neben Verkaufsverpackungen auch Transport-, Service- und Umverpackungen, die üblicherweise nicht beim Endkunden anfallen, in das System mit ein.

Mit Blick auf das Kunststoffrecycling und den Einsatz von Sekundärkunststoffen sind zwei Neuerungen des VerpackG von zentraler Bedeutung: Die Einrichtung der Zentralen Stelle und die Erhöhung der Verwertungsquoten für Verpackungen aus Kunststoff und anderen Materialien. Bereits mit Inkrafttreten des VerpackG im Jahr 2019 wurde die *Zentrale Stelle Verpackungsregister* (kurz „Zentrale Stelle“ oder ZSVR) als Kontrollinstanz ins Leben gerufen. Zu ihren Hauptaufgaben gehört die Führung eines Registers der Erstinverkehrbringer, das öffentlich einsehbar ist. Auf diese Weise soll eine hohe Transparenz des Dualen Systems gewährleistet und der faire Wettbewerb

¹⁴ Neben Regranulaten werden in diesem Marktsegment auch Kunststoff-Flakes und Kunststoff-Mahlgut zur weiteren Verarbeitung angeboten.

¹⁵ Der Markt für das Recycling von Industriekunststoffen existiert – anders als der für Post-Consumer-Kunststoffe – schon seit mehr als 50 Jahren und weist daher eine relativ stabile Marktentwicklung auf.

¹⁶ Mit Inkrafttreten des VerpackG am 1. Januar 2019 wurde die bis dahin geltende VerpackV abgelöst. Das VerpackG baut auf den Vorgaben der VerpackV von 1991 auf, die zuletzt 2014 überarbeitet wurde. In der aktuellen Fassung, die am 1. Juli 2021 in Kraft tritt,

setzt das VerpackG EU-Vorgaben der Einwegkunststoffrichtlinie (Richtlinie (EU) 2019/904 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 5. Juni 2019 über die Verringerung der Auswirkungen bestimmter Kunststoffprodukte auf die Umwelt) und der Abfallrahmenrichtlinie (Richtlinie 2008/98/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 19. November 2008 über Abfälle, zuletzt geändert durch Richtlinie (EU) 2018/851 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 30. Mai 2018 zur Änderung der Richtlinie 2008/98/EG über Abfälle) um.

zwischen allen Marktteilnehmern gefördert werden. Außerdem nimmt die Zentrale Stelle die Datenmeldungen der Erstinverkehrbringer über die Materialart und die geplante und tatsächliche Menge an Verpackungen entgegen, die in Verkehr gebracht werden sollen bzw. gebracht wurden. Sie kontrolliert die Angaben und gleicht sie mit den Datenmeldungen an die Systembetreiber ab. Verstöße gegen die Registrierungs- und Meldepflichten gelten als Ordnungswidrigkeit und haben ein Vertriebsverbot für die verpackten Waren zur Folge. Zudem müssen nicht registrierte Vertrieber rechtliche Schritte von Konkurrenten wegen unfairen Wettbewerbs fürchten, wenn konkurrierende Unternehmen das öffentliche Verpackungsregister einsehen. Die gegenüber der früheren VerpackV deutlich stärkere Kontrolle der Systembeteiligten soll eine gerechtere Kostenverteilung gewährleisten, indem sie sicherstellt, dass ordnungsgemäß registrierte Erstinverkehrbringer nicht die Kosten der Verpackungsverwertung für jene mittragen müssen, die sich diesem System entziehen. In der Folge ist mit weiter steigenden Lizenzmengen zu rechnen, die den Systembetreibern für eine stoffliche Verwertung zur Verfügung stehen.

Das VerpackG schreibt vor, dass mindestens 65% der jährlich anfallenden Verpackungsabfälle verwertet und mindestens 55% der Verpackungsabfälle recycelt werden. Diese Gesamt-Recyclingquote steigt ab 2025 weiter auf 65% und ab 2030 auf

70%. Die von den Systembetreibern zu erreichenden materialspezifischen Recyclingquoten wurden bereits 2019 erhöht und steigen 2022 abermals (Tab. 4.5.1). 2018 übertraf die werkstoffliche Verwertung von Kunststoff mit 42% der Lizenzmenge bereits deutlich die vorgeschriebene Quote von 36% (Zentrale Stelle 2019). Die Quoten ab 2019 bzw. ab 2022 spiegeln sicherlich auch die Erwartung deutlich steigender Lizenzmengen durch die strengeren Regeln des VerpackG wider, bleiben gegenüber den Quoten für andere Wertstoffe aber vergleichsweise niedrig.

Eine gesonderte Recyclingquote von 50% wurde für die bei privaten Endverbrauchern gesammelte jährliche Menge an Leichtverpackungen (LVP) aus Kunststoff, Metall und Verbundmaterialien eingeführt. Außerdem wurde die Pfandpflicht auf Frucht- und Gemüseektare mit Kohlensäure erweitert. Nach dem Jahr 2022 werden die Verwertungsergebnisse innerhalb von drei Jahren durch die Bundesregierung mit dem Ziel einer weiteren Erhöhung der materialspezifischen Verwertungsquoten überprüft.

Tab. 4.5.1: Recyclingquoten laut Verpackungsverordnung und Verpackungsgesetz (bezogen auf die Lizenzmenge)

	Quote bis 12/2018	Quote ab 2019	Quote ab 2022
Glas	75%	80%	90%
Papier, Pappe, Karton	70%	85%	90%
Weißblech / Eisenmetalle	70%	80%	90%
Aluminium	60%	80%	90%
Kunststoff	36%	59%	63%
Getränkekarton	60%	75%	80%
Sonstige Verbunde	60%	55%	70%
Recyclingquote bezogen auf die gesamte Post-Consumer-LVP-Erfassungsmenge			
Post-Consumer-LVP		50%	50%

Eigene Darstellung nach Angaben der VerpackV und des VerpackG.

Steigende Lizenzmengen und höhere Verwertungsquoten steigern auch die Wirtschaftlichkeit des Dualen Systems und ermöglichen damit die Umsetzung technologischer Innovationen im Recyclingbereich. Sowohl die Sortier- als auch die Recyclingtechnologien müssen weiterentwickelt werden, um die

höheren Mengen zu bewältigen und ihr Wertstoffpotenzial zu nutzen. Dies wird dazu führen, dass mehr Rezyklate in höherer Qualität verfügbar sein wird, was dann industriellen Verarbeitern von hochwertigen Sekundärkunststoffen eine größere

Sicherheit für ihre Investitionsplanung gibt und damit den Einsatz von Sekundärkunststoff erleichtert. Einige Neuerungen und Erweiterungen des VerpackG, die erst später in Kraft treten und erstmals Einsatzquoten von Sekundärkunststoff in

Neuwaren festlegen (Abb. 4.5.4), werden das Innovationsgeschehen voranbringen. Die industriellen Nutzer werden verstärkt Sekundärkunststoffe hoher Qualität nachfragen, was die Anforderungen an Recyclingunternehmen steigert, entsprechende Qualitäten in ausreichender Menge bereitzustellen.

Abb. 4.5.4: Künftige Neuerungen und Erweiterungen im VerpackG ab 2022

Ab 2022	Pfandpflicht für alle Einweggetränkeflaschen aus Kunststoff und alle Getränkedosen.
Ab 2023	Zusätzlich Mehrweg- neben Einwegbehältern für Fast-Food- und To-Go-Essen (ausgenommen von der Pflicht sind kleinere Betriebe).
Ab 2025	Mindestens 25% Recycling-Kunststoff bei PET-Einweggetränkeflaschen. Getrennte Sammlung von Einwegkunststoffgetränkeflaschen; Sammelquote 77%.
Ab 2029	Getrennte Sammlung von Einwegkunststoffgetränkeflaschen; Sammelquote 90%.
Ab 2030	Mindestens 30% Recycling-Kunststoff für alle Einwegkunststoffgetränkeflaschen.

Eigene Darstellung nach VerpackG und Die Bundesregierung (2021).

Einige Aspekte wurden im aktuellen VerpackG bislang nicht festgelegt. Hierzu zählt eine verbindliche Quote für Mehrweggetränkeverpackungen. Es wird lediglich „angestrebt“, den Anteil der Mehrweggetränkeverpackungen zu steigern. Bei Einwegkunststoffgetränkeflaschen ist erst ab 2030 generell ein bestimmter Mindestanteil an Recycling-Kunststoff vorgeschrieben, eine entsprechende Quote für andere Kunststoffverpackungen ist nicht vorgesehen. Zwar fördert das VerpackG die Verwendung ökologisch vorteilhafter und recyclingfähiger Verpackungen, eine Verpflichtung zur Gestaltung von Verpackungen mit besserer Recyclingfähigkeit, die für eine Optimierung und Ausweitung des Recyclings erforderlich wären, ist aber nicht vorgesehen. Um über das Duale System bei Verpackungsherstellern entsprechende Anreize zu schaffen, wären z.B. geringere Lizenzgebühren denkbar.

Beim Einsatz qualitativ hochwertiger Sekundärkunststoffe gibt es auf dem Recyclingmarkt im Moment wenig Bewegung. Während die Menge an Rezyklaten durch das VerpackG deutlich zugenommen hat, ist hochwertiges Rezyklat immer noch ein hochpreisiges Nischenprodukt. Auf der einen Seite sind hier weitere Innovationen notwendig, die eine hohe Qualität zu geringeren Kosten liefert. Gleichzeitig gibt es für sogenannte *brand owner*, die hochwertige Markenprodukte herstellen, zu wenig Anreize hochwertigen Recyclingkunststoff für ihre Verpackungen nachzufragen. Aus Expertengesprächen wurde deutlich, dass manchmal Geringfügigkeiten den Einsatz von Rezyklaten behindern können. So zeigte ein Beispiel, dass ein Unternehmen, das Abfallbehältnisse herstellt, sich dazu entschied, kein Rezyklat einzusetzen, da trotz gleicher Qualität in der Anwendung die Möglichkeit leichter Farbabweichungen (Schlieren) bestand.

Die Produktion hochwertigen Recyclingkunststoffs wird derzeit durch eine Kombination verschiedener Entwicklungs- bzw. Innovationshemmnisse behindert. Auf der Nachfrageseite betrifft dies die *brand owner*, die sich aufgrund fehlender geeigneter Produktionskapazitäten beim Einsatz von Recycling-

kunststoffen zurückhalten. Auf der anderen Seite scheuen dagegen Recyclingunternehmen Investitionen in neue großtechnische Anlagen, die für eine größere Angebotsmenge von hochwertigem Rezyklat erforderlich wären, da keine garantierten Abnahmemengen existieren. Außerdem wäre zu erwarten, dass zunächst (bis zur Realisierung von Lerneffekten in der Produktion) der Preis des qualitativ hochwertigen Materials weiterhin etwas über dem von Primärmaterial läge. Damit kommt es durch das systemische Zusammenwirken verschiedener Markthemmnisse derzeit nicht zur Entwicklung eines Marktes für hochwertiges Rezyklat.

Bislang liegen noch keine Zahlen zu den Auswirkungen des VerpackG vor. Auf Basis der Expertengespräche lassen sich aber schon einige Trends erkennen: So zeichnet sich ab, dass das VerpackG zu einer starken Ausweitung des Marktvolumens in Hinblick auf die Menge des recycelten Kunststoffs geführt hat. Gleichzeitig waren aber keine Auswirkungen auf die Qualität des gehandelten Rezyklats zu beobachten, was dazu geführt hat, dass die Umsätze nicht so stark gestiegen sind, wie dies bei einer Ausweitung des Absatzes qualitativ hochwertiger Materialien möglich gewesen wäre.

Darüber hinaus sind folgende Wirkungen des VerpackG absehbar:

- Ein Haupteffekt des VerpackG bestand darin, dass sich die Recyclingquoten erhöhten. Diese haben dazu geführt, dass die Sortieranlagen auf breiter Ebene modernisiert werden mussten, um die höheren Quoten zu erreichen. Gleichzeitig mussten die Betreiber und Dualen Systeme nach neuen Abnehmern für das Rezyklat und die Mischkunststoffe suchen. Soweit dies nicht gelungen ist, drohen Strafzahlungen. Diese Entwicklung traf besonders die Nachfrage nach qualitativ mittelwertigem Rezyklat, das preislich mit Primärmaterialien in einfachen Anwendungen konkurriert. Mit der Mischkunststoff-Fraktion können

dagegen keine Erlöse erzielt und lediglich einfache Produkte gefertigt werden, die in bestimmten Anwendungen andere Materialien wie Holz substituieren.

- Günstig hat sich insgesamt ausgewirkt, dass insbesondere Anfang 2021 die Preise für Rohöl wieder gestiegen sind und damit auch die sehr preissensitive Nachfrage nach Rezyklat gestiegen ist.

Technologische Entwicklung und Marktpotenziale bis 2030

Die bisherigen Ausführungen haben gezeigt, dass sehr unterschiedliche Entwicklungsstränge für ein funktionierendes Kunststoffrecycling maßgeblich sind. Mittel- und langfristig sind hier sowohl institutionelle Rahmenbedingungen als auch Innovationen in Recyclingtechnologie und Fortschritte beim Einsatz von Sekundärkunststoff zu nennen. Neben den Marktpotenzialen für Rezyklate bestimmen sie aber auch, in welchem Umfang Potenziale für den Umweltschutz und eine nachhaltige Ressourcennutzung realisiert werden können. Darüber hinaus ist das Kunststoffrecycling aber auch von Faktoren abhängig, die kurzfristigen Schwankungen unterliegen können – dies zeigt sich immer wieder am Beispiel des Rohölpreises. Als der Rohölpreis auf Grund der Corona-Pandemie im Sommer 2020 stark sank, verbilligte sich die Produktion von Primärkunststoff derart, dass die Kunststoffpreise drastisch sanken. Gleichzeitig stieg die Menge an Rezyklaten aus dem Recycling von Post-Consumer-LVP durch vermehrtes Home-Office und steigende Onlinebestellungen seit März um etwa 10%. In der Folge bekam die Recyclingbranche erhebliche Probleme beim Absatz ihres Sekundärkunststoffs (EU-WID 2020). Zusammengenommen macht dies deutlich, dass sich mittel- bis langfristig kaum Prognosen über die Marktentwicklung machen lassen. Wenn die wirtschaftlichen Bedingungen für alle Marktteilnehmer verlässlich bleiben, lassen die institutionellen Rahmenbedingungen sowie die bisherigen technischen Entwicklungen weitere Erfolge auf dem Weg in die Kreislaufwirtschaft für Kunststoff erwarten.

Die aktuellen Verfahren der Sortierung und Trennung von Kunststoffabfällen sind bereits sehr ausgereift und führen im Ergebnis zu Kunststofffraktionen mit hoher Sortenreinheit. Verbesserungen ergeben sich durch Integration modernster Sensortechnik oder *Tracing* von Verpackungen, das bereits zu Beginn des Recyclingprozesses Informationen über die Zusammensetzung von Kunststoffverpackungen liefern soll (Kögel 2020b). Für die Zukunft des Recyclings interessant sind technische Ansätze, die ein Recycling abseits dieser „klassischen“ mechanischen Verfahren anstreben. In diese Richtung gehen beispielsweise Verfahren, die unter dem Begriff des

Chemischen Recyclings von Kunststoffverpackungen firmieren. Das Pyrolyse-Verfahren, das hier zum Einsatz kommt, ist zwar nicht neu, es wird aber erstmals im Bereich der Kunststoffe angewendet. Die Kunststoffe werden hierbei durch chemische Prozesse in ihre Moleküle und Ausgangsstoffe zerlegt. Auf diese Weise werden Rohstoffe gewonnen, aus denen sich wieder neue Kunststoffe herstellen lassen.

Für das Recycling bieten diese Verfahren das Potenzial, in Zukunft die Effizienz des Recyclings zu erhöhen und etwa aus der Mischkunststofffraktion weitere Rohstoffe zu gewinnen. Diese Verfahren sind jedoch weit von einer ökonomischen Anwendung entfernt. Es besteht noch ein erheblicher Forschungsbedarf und es ist derzeit nach den Ergebnissen aus Expertengesprächen nicht absehbar, inwieweit diese Verfahren zukünftig einen ökonomisch sinnvollen Einsatz finden können. Neben offenen prozesstechnischen Fragen sind auch ökologische Aspekte und rechtliche Fragen ungeklärt. So zählt nach der Definition des § 3 Abs. 19 VerpackG ein solches Verfahren nicht zur werkstofflichen, sondern zur rohstofflichen Verwertung von Kunststoffabfällen (IN4climate.NRW 2020, NABU 2020). Damit trägt dieses Verfahren jedoch nicht zum Erreichen der vorgegebenen werkstofflichen Verwertungs- und Recyclingquoten bei, sondern nur zur Gesamtverwertungsquote (RECYCLING magazin 2020).

Kunststoffrecycling in NRW

Die Kunststoffindustrie spielt für Nordrhein-Westfalen eine zentrale Rolle, da sie auf vielfältige Weise unterschiedliche Bereiche einbezieht. Ihre Aktivitäten umfassen die Gebiete Werkstoffe, Produktionsverfahren, Produkte bis hin zum Recycling. Für die Entwicklung von Innovationen wird neben Unternehmen auch die vielfältige und breit aufgestellte Forschungslandschaft in NRW eingebunden (Kögel 2020a).

Auch die Recyclingwirtschaft nutzt diese günstigen Standortbedingungen für ihre Entwicklung. Bereits eine nicht repräsentative Internetrecherche zeigt, dass die vielfach mittelständischen Unternehmen der Recyclingwirtschaft breit über das gesamte Bundesland verteilt sind.

Die Aktivitäten von Unternehmen aus NRW im Bereich Kunststoffrecycling sind sehr vielfältig. Besonders viele öffentlich geförderte Projekte in diesem Bereich finden sich derzeit im Rheinischen Revier, das hier von der Förderung des Strukturwandels im Zuge des Endes der Braunkohleförderung profitiert. Eine Auswahl von Projekten mit Schwerpunkt auf das Recycling von Kunststoff(-verpackungen) zeigt Abbildung 4.5.5.

Abb. 4.5.5: Recyclingaktivitäten: Unternehmen und Projekte

Unternehmen	Projektbeschreibung
Nova-Institut GmbH, Hürth	Markt- und Technologiebericht über chemisches Recycling von Post-Consumer-Abfällen.
Institut für Kunststoffverarbeitung (IKV), Aachen	Entwicklung eines offenen digitalen Standards zur Dokumentation aller für das Recycling relevanter Eigenschaften von Kunststoffverpackungen im Rahmen der Initiative „R-Cycle“, einem Zusammenschluss verschiedener Unternehmen der Kunststoffverpackungsindustrie, dem KKV und der GS1 Germany GmbH.
ARBURG GmbH + Co KG	Entwicklung „smarter“ Turnkey-Anlagen, die Kunststoffverpackungen mit einer digitalen Kennung versehen, die eine Rückverfolgung und sortenreine Trennung ermöglichen.
Evonik Industries AG, Essen	Bündelung der Aktivitäten im konzerninternen „Global Circular Plastics Program“. Ziel: Weltweite Umsetzung mechanischer und chemischer Methoden zum Kunststoffrecycling; Forschung zur Verbesserung der physikalischen Eigenschaften von Regranulaten.
Projekte	Beschreibung
Low Carbon Industry im Rheinischen Revier	Im zu errichtenden Reallabor Low Carbon Industry sollen interdisziplinäre Forschungsteams unter Beteiligung der Unternehmen in verschiedenen Querschnittsthemen Technologien erforschen, die eine CO ₂ -neutrale Produktion im Rheinischen Revier ermöglichen. Die erste Säule hierzu stellt die Energieerzeugung aus erneuerbaren Quellen dar, die in der zweiten Säule, der energieintensiven Industrie, eingesetzt wird, um weitestgehend klimaneutrale Grundstoffe herzustellen. Diese Grundstoffe werden in der dritten Säule zur Herstellung CO ₂ -neutraler Endprodukte eingesetzt. Flankiert wird dies durch Forschung zur Recyclingoptimierung der Produkte im Sinne der Kreislaufwirtschaft.
PlastLoop.NRW - Kunststoffe vom Regal ins Regal – Produktion qualitativ hochwertiger Kunststoffrezyklate aus dem Gelben Sack für Verpackungsanwendungen	Heutiges Recycling von Kunststoffen stellt in der Regel ein Downcycling dar, indem aus hochwertigen Verpackungen, bspw. Blumenkübel oder Parkbänke, entstehen. Im zu errichtenden Reallabor des Projekts PlastLoop.NRW soll eine Kunststoffrecyclinganlage nach neusten Erkenntnissen entstehen, die es ermöglicht Kunststoffverpackungen aus dem Gelben Sack so aufzubereiten, dass das Rezyklat in Neuware-Qualität für hochwertige Verpackungen verwendet werden kann.
Change Factory Eschweiler	Die "Change Factory Eschweiler" wird als Innovationszentrum für Unternehmen entstehen, in dem u. a. mit zwei Kompetenzzentren die Ressourcenwende für den Bausektor und in der Kunststoffindustrie vollzogen werden soll. Die Bündelung von Kompetenzen bei der Entwicklung kreislaufgerechter Produkte und Verfahren stellt ein Alleinstellungsmerkmal der Change Factory Eschweiler dar und ist eines der wesentlichen Bausteine des Strukturwandels im Rheinischen Revier.

Eigene Darstellung nach kunststoffland NRW e.V. (2021) und Zukunftsagentur Rheinisches Revier (2021).

Umsetzung des Konzepts einer Kreislaufwirtschaft: Stand und Handlungsoptionen

Das Duale System hat im Bereich des Recyclings von Verpackungen aus Kunststoff wichtige Schritte in Richtung einer Kreislaufwirtschaft realisiert (Abb. 4.5.6):

- Es wurde ein Recyclingkreislauf geschaffen, in dem Altverpackungen gesammelt und einer Verwertung zugeführt werden. Das Gesamtsystem weist mittlerweile einen Nutzen aus, der die Kosten übersteigt (Rothgang, Dehio und Janßen-Timmen 2017; Dehio und Rothgang 2018). Die gesammelten Materialien können in bestimmten Bereichen (etwa als Lebensmittelverpackungen) aus Hygienegründen nicht eingesetzt werden. Gleichzeitig werden die recycelten Materialien nicht nur für die Herstellung von Verpackungen, sondern auch für andere Produkte eingesetzt. Beides entspricht nicht einer Kreislaufwirtschaft im engeren Sinne (bezogen auf einen Kreislauf bei den Verpackungen), ist aber vereinbar mit einer Kreislaufidee bezogen auf die gesamte Wirtschaft.
- Im Zuge der Etablierung dieses Kreislaufsystems ist ein segmentierter Markt für Rezyklate und ähnliche Recyclingprodukte entstanden (mit einem bislang kleinen Hochpreissegment, einem mittleren Preissegment und einem Segment für Mischkunststoffe). Der Wettbewerb funktioniert in den drei Segmenten unterschiedlich.
- Die Organisation der Sammlung/Rücknahme der Verpackungen wird deutschlandweit durch derzeit elf Duale Systeme organisiert.
- Zwei Branchen, eine für die Sortierung der Kunststoffverpackungen und eine weitere für deren Recycling sind entstanden. Deutschlandweit existieren ca. 40 Sortieranlagen, die jeweils räumlich überschneidende Einzugsgebiete bedienen. Der Recyclingmarkt ist mittelständisch organisiert und besitzt teilweise Überschneidungen mit Unternehmen die Kunststoffe recyceln, welche nicht aus dem Dualen System stammen.

Abb. 4.5.6: Entwicklungen im Kunststoffrecycling für Verpackungen und Weg hin zur Kreislaufwirtschaft



Eigene Darstellung.

- Durch das neue VerpackG wurde ein Prozess in Gang gesetzt, der zu einer verbesserten technologischen Ausstattung insbesondere bei Sortieranlagen geführt hat, die bis dahin noch nicht auf dem aktuellen Stand der Technik arbeiteten. Darüber hinaus ist es zu einer Optimierung der Prozesse innerhalb der Recyclinganlagen in Hinblick auf den Durchlauf und den Output der Sortierung gekommen.

Gleichzeitig kann man davon sprechen, dass das Ziel einer Umsetzung der Kreislaufwirtschaft bislang in mehrerer Hinsicht noch nicht erreicht wurde:

- Bislang ist es noch nicht gelungen, einen Markt für qualitativ hochwertige Kunststoffe zu etablieren. Hemmnisse sind hier die zu kurzen Zeiträume, über die im Recyclingbereich kalkuliert wird. Für die erforderlichen Investitionen benötigen die Unternehmen einen längeren Amortisationszeitraum. Gleichzeitig sind derzeit die Kosten für hochwertiges Rezyklat noch zu hoch, da die zu erwartenden Lernkurveneffekte durch bestehende Produktionsprozesse nicht realisiert werden konnten.

- Auf Seiten der Markenartikelhersteller reichen die Anreize nicht aus, um ein *zirkuläres Design* zu realisieren. Dieses würde einerseits zur Ressourcenschonung beitragen und andererseits dazu führen, dass Verpackungsdesigns entworfen werden, die ein Recycling erleichtern. Ein recyclinggerechteres Design und eine geringere Komplexität der Verpackungen lassen sich in erster Linie durch angemessene Anreize für die Inverkehrbringer erreichen (Herrmann et al. 2021: 50ff.).

- Im Bereich der Haushaltssammlung bestehen noch erhebliche Potenziale, die durch optimierte lokale Sammelsysteme gehoben werden können. Dazu bedarf es vor allem einer Standardisierung der Recyclingsysteme und Sensibilisierungskampagnen für Verbraucherinnen und Verbraucher (Herrmann et al. 2021: 53ff.)

Erforderlich wäre daher eine sukzessive Weiterentwicklung des bestehenden Systems durch einen weiteren Abbau der noch bestehenden Schwächen.

4.6 Fallstudie: Recycling von Traktionsbatterien aus Fahrzeugen

Derzeit wird die Elektromobilität mit großer Intensität vorangetrieben, um dem Ziel einer CO₂-neutralen und nachhaltigen Wirtschaftsweise näher zu kommen. Dieses Ziel kann nur erreicht werden, wenn gleichzeitig ein effizientes Recyclingsystem, insbesondere für Traktionsbatterien als zentrales Element der Elektromobilität aufgebaut wird. Der Begriff Traktionsbatterie steht für mobile elektrische Energiespeicher, die für den Antrieb von Elektrofahrzeugen zum Einsatz kommen. Das Recycling von Traktionsbatterien steht zukünftig vor neuen Herausforderungen. Dies betrifft insbesondere den absehbaren Anfall von Batterien, für die derzeit kein etabliertes und effizientes Recyclingsystem existiert. Gleichzeitig müssen regulative Rahmenbedingungen geschaffen werden, die geeignete Anreize für einen funktionierenden Recyclingmarkt für Traktionsbatterien schaffen.

Vor diesem Hintergrund werden in dieser Fallstudie Stand und Perspektiven des Recyclings von Traktionsbatterien in Deutschland diskutiert. Zunächst liegt der Fokus auf Entwicklung und Stand des Recyclings von Kfz-Batterien. Als nächstes wird die (für die Zukunft zu erwartende) Funktionsweise des Batterierecyclings und dessen Zukunftspotenziale beleuchtet. Danach liegt der Fokus auf den Aktivitäten im Zusammenhang mit Batterie-Recycling in NRW und es wird gefragt, welche Handlungsoptionen für die zukünftige Umsetzung der Kreislaufwirtschaft beim Batterie-Recycling bestehen.

Entwicklung und Stand des Recyclings von Traktionsbatterien

Rohstoffe in Traktionsbatterien als Ressource

Je nach Typ und Design können (Lithium-basierte) Traktionsbatterien verschiedene Rohstoffe in unterschiedlicher Zusammensetzung enthalten (Mossali et al. 2020; Doose et al. 2021). Wichtige Rohstoffe sind dabei:

- Aluminium,
- Nickel,
- Kupfer,
- Kobalt und
- Lithium.

Tabelle 4.6.1 zeigt die Zusammensetzung beispielhaft für einen Batterietyp mit hohem Nickel-Anteil. Lithium ist im flüssigen Elektrolyt enthalten. In anderen Varianten können auch andere Rohstoffe wie Eisen oder Mangan verwendet werden.

Tab. 4.6.1: Zusammensetzung einer Batterie auf Basis einer Lithium-Nickel-Cobalt-Mangan-Verbindung (Ni-NMC)

Gehäuse	22%	(normalerweise Stahl bei zylindrischen Gehäusen)
Kathodenstromableiter	7%	(Aluminium)
Aktives Kathodenmaterial	26%	(hoher Nickel-Anteil)
Anodenstromableiter	17%	(Kupfer)
Aktives Anodenmaterial	15%	(Kobalt oder Silizium)
Elektrolyt	10%	(flüssig, Lithiumverbindungen)
Separator	3%	(Polymer)

Eigene Darstellung nach Doose et al. (2021: 4) und Mossali et al. (2020: 2).

In Bezug auf die Batterierohstoffe wurde im Rahmen der Erstellung der Risikoprofile für Kobalt, Lithium und Mangan ein hohes und für Aluminium, Kupfer, Nickel und Silizium ein mittleres Risiko festgestellt (siehe dazu auch den Abs. 3.4).

Rechtliche Regelungen

Die für 2022 geplante neue EU-Batterieverordnung, die in Form eines Vorschlags der EU-Kommission vorliegt (European Commission 2020b), soll die alte EU-Batterien-Richtlinie

(Richtlinie 2006/66/EG) ablösen, die 2006 eingeführt wurde. Letztere wurde durch das Batteriegesetz von 2009 (Gesetz über das Inverkehrbringen, die Rücknahme und die umweltverträgliche Entsorgung von Batterien und Akkumulatoren) in nationales Recht umgesetzt (vgl. Abb. 4.6.1). Die neue EU-Batterieverordnung sieht ehrgeizige Ziele für das Recycling von Fahrzeugbatterien vor.

Abb. 4.6.1: Rechtliche Regelungen für das Recycling von Batterien



Eigene Darstellung.

Im Einzelnen sind für Traktionsbatterien geplant:

- Die Betrachtung von 2nd-Life-Batterien als neue Produkte, die den entsprechenden Produkthanforderungen entsprechen müssen.
- Die Etablierung eines Berichtssystems u.a. für Kfz-Batterien; Vorgegebene Recyclingquoten für Lithium-Ionen-Batterien (65% bis 2025 und 70% bis 2030).
- Recyclingquoten für einzelne Rohstoffe: Kobalt, Nickel, Kupfer (je 90% bis 2025 und 95% bis 2030); Lithium: 35% bis 2025 und 70% bis 2030.
- Angabe zum Anteil von rezyklierten Rohstoffen bis 2025 und der Zielerreichung in Hinblick auf rezyklierte Rohstoffe für 2030 und 2035.
- Bereitstellung von Informationen über Batterien (wichtig für das Recycling).

Darüber hinaus hat sich in Deutschland die Arbeitsgruppe Traktionsbatterien der *Circular Economy Initiative Deutschland* mit Recyclingquoten für Deutschland auseinandergesetzt. Die Arbeitsgruppe empfiehlt insbesondere eine Rückgewinnungsrate über den Gesamt-Recyclingprozess hinweg von 60% in 2025 und einen anzustrebenden Wert von 70% im Jahr 2030. Für die einzelnen Rohstoffe werden sogar noch deutlich höhere Rückgewinnungsraten empfohlen, nur für Lithium liegen die Quoten mit 50% (verbindlich) und 85% (anzustreben) etwas niedriger (acatech et al. 2021: 8).

Funktionsweise und Wirkungsmechanismen des Recyclings von Traktionsbatterien

Recyclingkreislauf

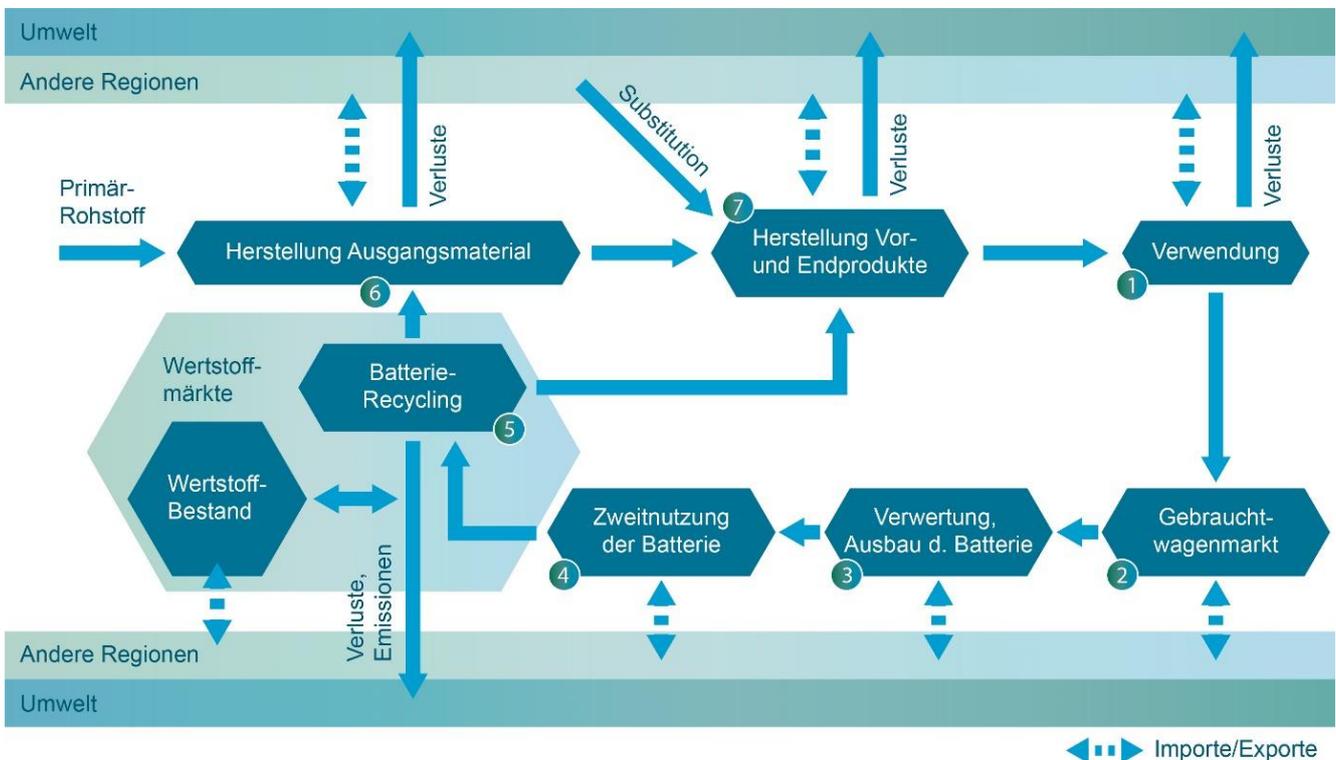
Derzeit werden bereits erste Batteriesysteme aus Kraftfahrzeugen gesammelt. Wenn möglich werden diese zunächst einer Zweitnutzung zugeführt. Effiziente Recyclingprozesse sind noch nicht etabliert, auch wenn erste Anlagen zum Recycling von Lithium-Ionen-Batterien existieren. Grund dafür ist, dass die erforderlichen Mengen für die Etablierung effizienter Recyclingsysteme noch nicht zur Verfügung stehen. Für den Betrieb einer Anlage werden etwa 10.000 Tonnen pro Jahr benötigt. Es wird geschätzt, dass bis 2025 in Deutschland etwa 2000 Tonnen im Jahr zur Verfügung stehen, sodass die erforderliche Menge für den Betrieb einer effizienten Recyclinganlage erst in einigen Jahren verfügbar sein werden.

Abbildung 4.6.2 zeigt den Kreislauf des Batterierecyclings, dessen genaue Ausgestaltung derzeit noch mit einigen Unsicherheiten verbunden ist. So hängt der weitere Weg nach der **Verwendung des Kfz** (1) auch von der zukünftigen Ausgestaltung der Verträge mit den Herstellern ab. Soweit eine Rücknahme über die Hersteller vereinbart wird oder die Batterie oder das Kfz im Eigentum des Herstellers verbleibt, wird das Recycling über den Hersteller organisiert.

Eine wichtige Rolle für das Recycling der Autobatterien spielt der **Gebrauchtwagenmarkt** (2). In vielen Fällen werden heute gebrauchte aber noch funktionstüchtige Kraftfahrzeuge ins Ausland exportiert (häufig nach Osteuropa oder Afrika). Diese Fahrzeuge würden dann zukünftig für das Recycling der Batterien in Deutschland verloren gehen. Die ausgedienten Batterien würden dann im Ausland recycelt werden – eventuell mit weniger effizienten und/oder möglicherweise umweltbelastenden Verfahren.

Bei ausgedienten Kraftfahrzeugen werden die Batterien im Rahmen der Autoverwertung aus dem Kfz ausgebaut oder im Lebenszyklus eines Kraftfahrzeugs ausgetauscht (3). Die Lebensdauer einer E-Auto-Batterie beträgt derzeit ca. 8 bis 10 Jahre, es ist jedoch davon auszugehen, dass die Lebensdauer in Zukunft deutlich steigen wird. Nach derzeitigem Stand werden diese Batterien, soweit sie nicht defekt sind, zunächst einer **2nd-Life-Anwendung** als Energiespeicher (4) zugeführt, da sie für diese Anwendungen immer noch wirtschaftlich einsetzbar sind. Dies verlängert den Zeitraum bis zur ausreichenden Verfügbarkeit von Batterien für ein effizientes Recycling.

Abb. 4.6.2: Kreislauf des Batterierecyclings



Eigene Darstellung.

Das Recycling von Lithium-Ionen-Batterien aus der Elektromobilität (5) wird derzeit hauptsächlich in Pilotanlagen betrieben. Abbildung 4.6.3 zeigt beispielhaft den Aufbau eines Recycling-Prozesses. Ein hybrider Recyclingbetrieb, der durch das parallele Recycling von Alkali-Mangan-Batterien betrieben werden kann, existiert in Bremerhaven (Redux Recycling)¹⁷.

Eine weitere Recyclinganlage ist in Krefeld in Betrieb¹⁸. Nach derzeitigem Stand können technisch etwa 65 Massenprozent der Autobatterien recycelt werden. Die Recyclingprozesse haben sich aber noch nicht etabliert. Somit steht gegenwärtig die Forschung nach effizienten Lösungen für das Batterierecycling im Mittelpunkt.

Abb. 4.6.3: Prozess des Recyclings von Lithium-Ionen-Batterien



Eigene Darstellung nach Arnberger et al. (2018: 589).

¹⁷ [Lithium-Ionenbatterien - REDUX – Smart battery recycling \(redux-recycling.com\)](https://lithium-ionenbatterien-redux.com), Abruf vom 16.06.2021.

¹⁸ <https://accurec.de/lithium?lang=de>, Abruf vom 8.3.2021.

Das Recycling umfasst die Aufbereitung und die anschließende Behandlung mit pyrometallurgischen oder hydrometallurgischen Verfahren. Ziel ist es, einerseits eine möglichst hohe Menge an Rohstoffen zurück zu gewinnen und andererseits Schadstoffe zu separieren und einer sicheren Behandlung zuzuführen (Arnberger et al. 2018: 588). Dabei sind verschiedene Prozess-Strukturen möglich (vgl. Doose et al. 2021: 3). Die Abbildung zeigt einen möglichen Prozess für die Aufbereitung und das Recycling von Lithium-Ionen-Batterien, an dessen Ende eine mechanische Aufbereitung steht.

Dabei spielen auch Sicherheitsrichtlinien eine zentrale Rolle, da die Batterien zunächst entladen werden müssen, um ein Sicherheitsrisiko für die Betriebe und Mitarbeitenden auszuschließen. Erforderlich ist dann eine Sortierung nach verschiedenen Kathodenmaterialien, da in Abhängigkeit vom Kathodenmaterial unterschiedliche Recyclingverfahren zur Anwendung kommen. Im Anschluss an die Entladung erfolgt die mechanische Aufbereitung mit dem Ziel, möglichst viele Wertstoffe wieder zu gewinnen.

Das aus dem Recycling resultierende Material kann bei entsprechender Anlage des Recyclingprozesses unmittelbar wieder als Ausgangsmaterial in die Batterieproduktion eingehen (5 und 6).

Effizienzpotenziale

Um die Effizienzpotenziale im Batterie-Recycling nutzen zu können, muss nicht nur die Recyclingtechnologie betrachtet, sondern verschiedene Stufen des Kreislaufs in den Blick genommen werden:

- Bei der Verwendung stellt sich die Frage, in welcher Form Kauf- oder Leasing-Verträge ausgestaltet werden, um ein Recycling der Batterien zu ermöglichen. Denkbar wären dabei z.B. Leasing-Verträge für Batterien, bei denen die Lithium-Ionen-Batterien selbst im Eigentum der Hersteller bleiben.
- Im Gebrauchtwagenmarkt stellt sich das Problem, dass insbesondere bei Fahrzeugen, die ins nichteuropäische Ausland verkauft werden, häufig nicht sichergestellt werden kann, dass die Batterien einem effizienten und umweltschonenden Recyclingprozess zugeführt werden. Darüber hinaus müssen illegale Exporte von nicht mehr funktionsfähigen Fahrzeugen verhindert werden, die lukrativ werden können, um Kosten des Recyclings zu umgehen. Gleiches gilt für im Rahmen der Verwertung ausgebauten Batterien.
- Beim Batterierecycling bestehen derzeit noch erhebliche Effizienzpotenziale. Es scheint jedoch möglich, in Zukunft hohe Anteile der in den Batterien enthaltenen Rohstoffe wieder zu verwerten. Abschätzungen kommen zu dem Ergebnis, dass in Zukunft bei Optimierung der Prozesse

eine Wiederverwertungsrate von über 90-95% möglich sein wird (Doose et al. 2021: 11). Die größten Effizienzpotenziale im Recycling werden von Experten derzeit bei Lithium und Graphit gesehen (Peters et al. 2018: 17). Da die Batterietechnologie noch intensiv weiterentwickelt wird, sind allerdings auch die Inhaltsstoffe der zukünftigen Batteriemodule noch nicht bekannt.

Der bereits in Grundzügen bestehende institutionelle Rahmen muss sukzessive weiterentwickelt werden, um die bestehenden Effizienzpotenziale beim Recycling von Lithium-Ionen-Batterien heben zu können.

Technologieentwicklung und Marktpotenziale bis 2030

Da die Elektromobilität und damit die Rahmenbedingungen für das Recycling von Traktionsbatterien sich derzeit dynamisch entwickeln, werden Szenarien sehr schnell von der aktuellen Entwicklung überholt. Auf Basis der gegenwärtig vorliegenden Informationen zur Entwicklung der Elektromobilität existieren Abschätzungen des anfallenden Wertstoffvolumens für die kommenden Jahre, die auf Prognosen der Elektromobilität beruhen (Tab. 4.6.2 und 4.6.3). Die Entwicklung der Batteriemengen für das Recycling folgt den Trends in der Elektromobilität. Abschätzungen des Recyclings von Traktionsbatterien wurden u.a. von Atzorn et al. (2018) und Element Energy Ltd (2019) vorgenommen. Die Darstellung der Marktpotenziale im Folgenden basiert hauptsächlich auf den Daten von Element Energy, wobei zwischen den beiden Publikationen keine grundsätzlich unterschiedlichen Schlüsse zu ziehen sind.

Im Rahmen der Betrachtung werden zwei Alternativszenarien verglichen, die sich in der Geschwindigkeit unterscheiden, mit der neue Kfz in der EU eingeführt werden. Im Basisszenario wird davon ausgegangen, dass bis 2030 insgesamt 710 Tsd. batteriebetriebene Kraftfahrzeuge (sowohl reine Elektroautos als auch Plugin-Hybride) in der EU zugelassen sind. Diese Zahl steigt über 4,0 Mill. bis 2040 auf 8,8 Mill. 2050. Im Alternativszenario wird davon ausgegangen, dass die Anzahl der Elektrofahrzeuge von 1,6 Mill. im Jahr 2030 auf 6,2 Mill. bis 2040 und 10,8 Mill. im Jahr 2050 zunimmt. Die unterschiedliche Anzahl der zugelassenen Fahrzeuge wirkt sich mit Verzögerung auch auf die Recyclingkapazitäten aus.

Bei der Abschätzung des Recyclings ist zu berücksichtigen, dass diejenigen Batterien, die nicht defekt sind, nach dem heutigen Stand zunächst als Energiespeicher in Zweitnutzungen verwendet werden, bevor sie recycelt werden. Dies führt dazu, dass der Anfall von Batterien für das Recycling EU-weit nach dieser Prognose erst im Jahr 2030 erheblich zunimmt und dann in den Jahren bis 2050 dynamisch ansteigt.

Tab. 4.6.2: Basisszenario: Anfallen und Recycling von Lithium-Ionen-Batterien in der EU, 2020 bis 2050

	2020	2025	2030	2040	2050
Recycelte Batterien (Anzahl)	-	1 967	20 512	437 388	3 217 697
Batterien, die in 2nd-Life-Anwendungen eingehen (Anzahl)	2 916	26 960	104 810	1 466 325	3 907 179
Recycelte Lithium-Ionen-Batterien nach erster Nutzung (Tonnen)	-	371	3 614	59 938	351 856
Recycelte Lithium-Ionen-Batterien nach 2nd-Life-Anwendung (Tonnen)	1	77	1669	37 603	238 716
Recycelte Lithium-Ionen-Batterien insgesamt (Tonnen)	1	448	5 283	97 541	590 572

Eigene Darstellung nach Element Energy Ltd. (2019: 81).

Tab. 4.6.3: Szenario erhöhte Geschwindigkeit der Verbreitung der Elektromobilität

	2020	2025	2030	2040	2050
Recycelte Batterien (Anzahl)	11 425	69 038	425 855	4 262 493	10 035 267
Batterien, die in 2nd-Life-Anwendungen eingehen (Anzahl)	2 916	26,968	173 275	2 776 099	4 646 491
Recycelte Lithium-Ionen-Batterien nach erster Nutzung (Tonnen)		371	3965	117 370	642 867
Recycelte Lithium-Ionen-Batterien nach 2nd-Life-Anwendung (Tonnen)	1	78	1 750	68 964	470 689
Recycelte Lithium-Ionen-Batterien insgesamt (Tonnen)	1	449	5 715	186 335	1 113 556

Eigene Darstellung nach Element Energy Ltd. (2019: 81).

Während derzeit nur eine sehr geringe Anzahl an Traktionsbatterien recycelt wird und die Kapazität für erste 2nd-Life-Anwendungen auf rund 1 Tonne geschätzt wird, wird im Basisszenario für das Jahr 2030 eine Recyclingmenge aus erster Nutzung von 3,6 Tsd. Tonnen prognostiziert und eine gesamte Recyclingmenge von 5 283 Tonnen. EU-weit ist eine dynamische Zunahme des Recyclings in beiden Szenarien im Zeitraum zwischen 2030 und 2040 zu beobachten, wobei eine höhere Anzahl an elektrischen Fahrzeugen unmittelbar auf die recycelte Menge an Traktionsbatterien durchschlägt. Im Szenario mit einer erhöhten Durchsetzung der Elektromobilität ist die Menge an recycelten Batterien im Jahr 2040 mit 186 Tsd. Tonnen um 90% höher als im Basisszenario (97 Tsd. Tonnen).

Wie hoch die erforderlichen Kapazitäten sein werden, hängt stark von der Entwicklung der Nachfrage nach Elektromobilität ab, die sich derzeit sehr dynamisch entwickelt. Es gibt Hinweise, dass die Prognosen – zumindest was die Dynamik der Entwicklung der Elektromobilität anlangt, zu pessimistisch sind. Das trifft auf beide Szenarien zu. So liegt den Berechnungen ein Anteil von Fahrzeugen mit Traktionsbatterie (so-

wohl Elektrofahrzeuge als auch Plugin-Hybride und Mild Hybride, die nicht extern aufgeladen werden können) von 5% im Jahr 2020 zugrunde (Element Energy 2019: 6). Jedoch lag nach aktuellen Zahlen der Anteil der Neuwagenverkäufe bei den elektrisch aufladbaren Fahrzeugen (rein elektrische und Plugin-Hybride) bei 10,5% und bei den nicht aufladbaren Hybriden bei 11,9%, was einem Anteil von 22,4% an den Neuwagenverkäufen entspricht (bezogen auf EU plus EFTA). Im letzten Quartal des Jahres 2020 lag dieser Anteil von elektrisch aufladbaren EU-weit bei 16,5% und von nicht aufladbaren Hybriden bei 15,1%. Das Prognosemodell hatte solche Anteile im Basismodell erst nach 2025 und im Modell mit beschleunigter Durchsetzung der Elektromobilität erst vor 2025 prognostiziert (Element Energy 2019: 8; ACEA 2021).

Diese Entwicklungsdynamik zeigt, dass zwar derzeit noch kein aktueller Bedarf an einem effizienten Recyclingsystem für Lithium-Ionen-Batterien aus Mobilitätsanwendungen besteht, dass sich dies jedoch in mittelfristiger Perspektive durch die dynamische Entwicklung der Elektromobilität insbesondere nach 2030 erheblich ändern wird.

Beitrag der Industrie und Forschung in NRW zum Batterie-Recycling

Die Etablierung eines funktionierenden und effizienten Kreislaufs im Bereich des Recyclings von Traktionsbatterien erfordert in den kommenden Jahren Optimierungen über alle Stufen des Kreislaufs hinweg. NRW finden sich optimale Bedingungen für die Entwicklung solcher Lösungen, da zentrale Akteure in den wichtigen Bereichen des Recyclings von Traktionsbatterien hier ansässig sind.

- Mit der *accurec* ist ein wichtiges Unternehmen in NRW ansässig, das zusammen mit der RWTH Aachen ein Verfahren für das Recycling von Traktionsbatterien entwickelt hat (Buchert und Sutter 2020). Das Unternehmen forscht sowohl an der Weiterentwicklung des Batterierecyclings als auch an der Berücksichtigung der Recyclingfähigkeit bei der Entwicklung von Traktionsbatterien.¹⁹
- SIMPLiRETURN ist ein als Joint Venture von Interseroh und Saubermacher gegründetes Dienstleistungsunternehmen aus Köln. Das Unternehmen bietet über ein internationales Logistik- und Partnernetzwerk Recyclinglösungen für Transaktionsbatterien an. Das Unternehmen betreibt die Aufbereitungsanlage für Lithium-Ionen-Batterien in Bremerhaven.²⁰

Darüber hinaus finden Forschungsaktivitäten hinsichtlich der Recyclingfähigkeit von Traktionsbatterien an den Universitäten, Fachhochschulen und außeruniversitären Forschungseinrichtungen des Landes statt:

- Einen Schwerpunkt für die Aktivitäten im Bereich des Recyclings von Traktionsbatterien stellt die Forschungsfertigung Batteriezelle, als Institutsteil des Fraunhofer-Instituts für Produktionstechnologie IPT entsteht. Partner bei diesem Projekt sind die Fraunhofer-Gesellschaft gemeinsam mit der RWTH Aachen und dem Batterieforschungszentrum *Electrochemical Energy Technology* an der Universität Münster.
- An der FH Münster beschäftigt sich die Arbeitsgruppe Ressourcen am Institut für Infrastruktur – Wasser – Ressourcen – Umwelt unter der Leitung von Frau Prof. Dr.-Ing. Flamme mit dem Batterierecycling. Im Zusammenhang mit der Batterieforschungsfabrik in Münster soll in den kommenden Jahren, gefördert u.a. durch das Land NRW, ein Demonstrationszentrum für die Demontage von Lithium-Ionen-Batterien entstehen. Das Zentrum wird es

Industrieunternehmen ermöglichen, Recyclingrouten für unterschiedliche Batterietypen zu erproben.²¹

- An der RWTH Aachen beschäftigt sich insbesondere das Institut für Metallurgische Prozesstechnik und Metallrecycling mit der Weiterentwicklung von Technologien für das Recycling von Lithium-Ionen-Batterien. Im BMBF-Kompetenzcluster Recycling und Grüne Batterie wird nach Grundlagen für ein nachhaltiges Recycling von Batterien und deren Rohstoffen und der Schließung von Stoff- und Materialkreisläufen im Batterie-Lebenszyklus geforscht. Das Projekt ist Teil des Dachkonzepts der Forschungsfabrik Batterie.²² Neben diesem Institut sind weitere Lehrstühle aus verschiedenen Fachbereichen in die Aktivitäten im Rahmen des Batterierecyclings eingebunden.
- Am MEET Batterieforschungszentrum an der Universität Münster wird entlang des gesamten Wertschöpfungskreislaufs von Batterien geforscht. Einen Schwerpunkt bildet dabei auch das Recycling der Batteriematerialien und die Frage nach 2nd-Life-Anwendungen.

Umsetzung des Konzepts einer Kreislaufwirtschaft: Handlungsoptionen

Das Recycling von Traktionsbatterien hat das Potenzial, mit entsprechenden institutionellen Rahmenbedingungen und dem Einsatz von effizienten Recyclingtechnologie einem geschlossenen Kreislauf sehr nahe zu kommen. Darum sollten jetzt die Rahmenbedingungen für ein effizientes Recycling von Traktionsbatterien gesetzt werden (Abb. 4.6.4). Der Entwurf für die neue Batterie-Verordnung der EU stellt hierfür eine wichtige Grundlage dar. Regelungsbedarf besteht u.a. für:

- den Rahmen für eine vollständige Sammlung aller Traktionsbatterien,
- die Basis für die Nutzung in möglichen 2nd-Life-Anwendungen,
- Sicherheitsvorgaben für die Behandlung von Altbatterien sowie
- Vorgaben für Informations- und Kennzeichnungspflichten sowie die elektronische Bereitstellung und den Austausch von Informationen (etwa über den *Battery Passport*, der die erforderlichen Informationen zur Batteriechemie liefert und die eindeutige Identifizierung der Batterien erlaubt).

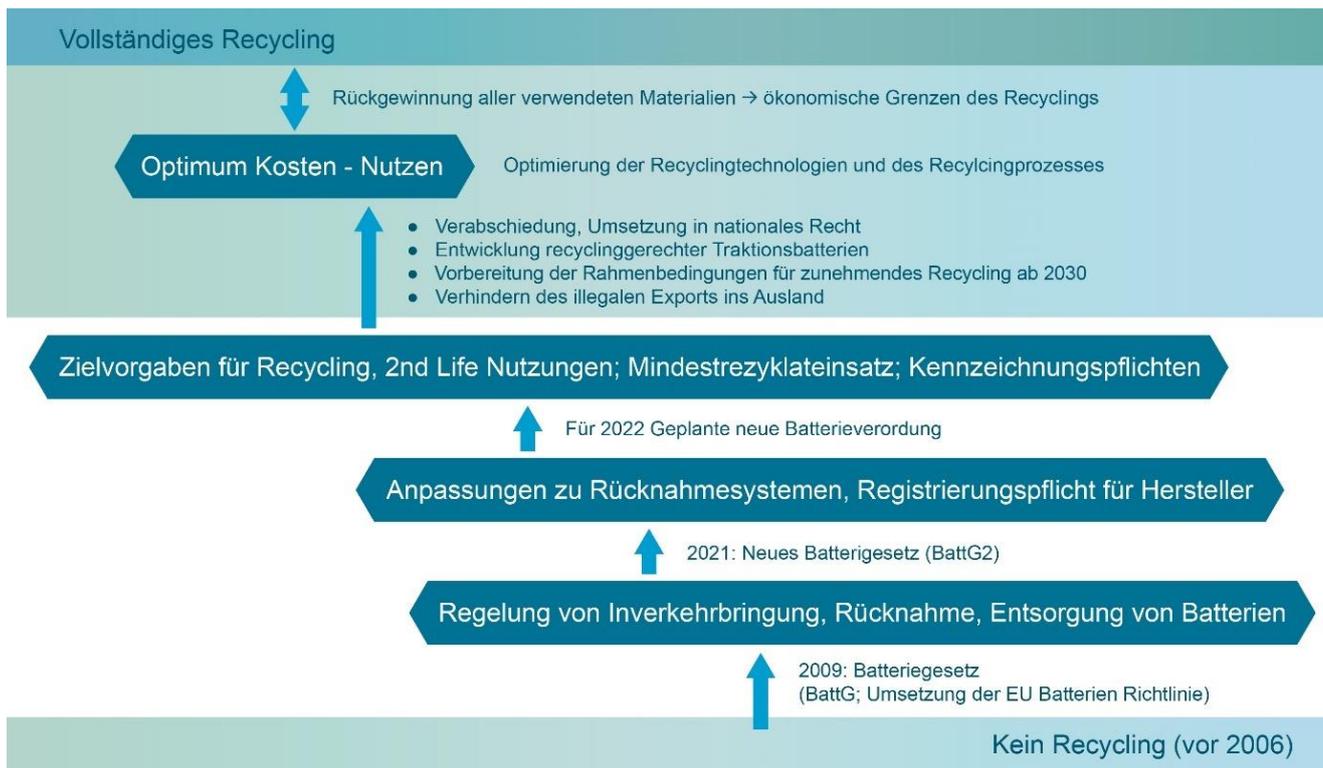
¹⁹ accurec.de/forschung-und-entwicklung/?lang=de, Abruf vom 17.06.2021.

²⁰ interseroh.de/aktuelles/detailseite/simpli-return-interseroh-und-saubermacher-schaffen-ersten-globalen-recycling-service-fuer-lithium-ion/, Abruf vom 17.06.2021.

²¹ fh-muenster.de/hochschule/aktuelles/pressemitteilung.php?pmid=8493, Abruf vom 17.06.2021.

²² metallurgie.rwth-aachen.de/new/src/index2.php?route=news&id=247, Abruf vom 17.06.2021.

Abb. 4.6.4: Entwicklungen im Recycling von Traktionsbatterien und Weg hin zur Kreislaufwirtschaft



Eigene Darstellung.

Entsprechende Regelungen müssten in den kommenden Jahren immer wieder angepasst werden, um ungünstigen Entwicklungen entgegen zu wirken und neue Trends zu adaptieren. Wegen des großen Gefährdungspotenzials für Gesundheit und Umwelt ist dabei besonders der illegale Export von Batterien im Blick zu behalten.

Hinsichtlich der Recyclingquoten für die einzelnen Wertstoffe sind unterschiedliche Herangehensweisen denkbar, die jeweils spezifische Vor- und Nachteile aufweisen. Soweit keine Recyclingquoten festgelegt werden, orientieren sich die Recyclingunternehmen an den jeweils vorherrschenden Marktpreisen und den Kosten für unterschiedliche Ausgestaltungsmöglichkeiten des Recyclingverfahrens. Dies führt dazu, dass Kostenüberlegungen direkt in die Wirtschaftlichkeitsüberlegungen der Recyclingunternehmen eingehen. Nachteilig ist, dass der Beitrag zur Ressourcenschonung sich aus den Resultaten des Marktprozesses ergibt. Darüber hinaus bestehen weniger Anreize zur Realisierung von Technologiesprüngen, die eine vermehrte Rückführung von Rohstoffen in den Kreislauf ermöglichen.

Der von der EU-Kommission favorisierte Weg besteht in der expliziten Vorgabe von Recyclingquoten für einzelne Rohstoffe. Somit wird sichergestellt, dass die einzelnen Rohstoffe

auch tatsächlich in gewünschtem Maße wiedergewonnen werden. Dieses Vorgehen hat sich in anderen Bereichen wie dem Kunststoffrecycling bewährt. Allerdings steigen dadurch potenziell die volkswirtschaftlichen Kosten und der ökologische Fußabdruck des Recyclings, sofern vorgegebene Recyclingquoten mit einem höheren Energieeinsatz verbunden sind.

Auf Ebene der Technologie sind bereits zahlreiche Initiativen gestartet. Hier müssen Prozesse entwickelt werden, die kostengünstig und mit möglichst geringem ökologischem Fußabdruck einen hohen Recyclinggrad für die in den Batterien enthaltenen Rohstoffe erlauben. Dies wird durch die Kombination verschiedener Verfahrensschritte sichergestellt. Gleichzeitig wird es nicht einen Prozess geben, sondern das Recycling wird sich jeweils an der chemischen Charakteristik der Traktionsbatterien orientieren und im Zeitablauf noch ändern.

Das Land NRW kann und sollte gerade bei der Etablierung von Recyclingverfahren eine wichtige Rolle spielen. Hierzu sollten die Forschungsaktivitäten im Bereich der Batterie- und Recyclingtechnologie im Land genutzt werden. Einen idealen Ansatzpunkt stellt die Forschungsfertigung Batterie in Münster dar. Denn die Ziele der Kreislaufwirtschaft, die mit der Elektromobilität verbunden sind, können nur erreicht werden, wenn auch die Recyclingfähigkeit der Batterien bei ihrer Produktion gleich mitgedacht wird.

4.7 Fallstudie: Recycling von Elektronikschrott

2019 fielen weltweit 53,6 Mill. Tonnen Elektronikschrott²³ an, davon 12 Mill. Tonnen in der EU. Das jährliche Wachstum der Elektronikschrottmenge beträgt zwischen 3% und 5% (Forti et al. 2020). Mit 24,9 Mill. Tonnen ist Asien der größte Teil des Elektronikschrotts an, die größte Menge pro Kopf der Bevölkerung dagegen mit 16,2 Tonnen in der EU. In Deutschland wurden gemäß Schätzungen im Rahmen des Global E-Waste Monitor in 2019 1.607 Mill. Tonnen Elektronikschrott generiert, was einer Menge von 19,4 kg pro Einwohner und Jahr entspricht und damit über dem EU-Durchschnitts liegt (Forti et al 2020: 108). Für das Recycling wurden davon etwa 837 Tsd. Tonnen gesammelt. Dieser Abfall stellt eine potenziell sehr wertvolle Quelle für Sekundärrohstoffe dar, die wieder in die Produktion eingehen können. Gleichzeitig stellt der Gehalt an Schadstoffen und die hohe Heterogenität des Elektronikschrotts eine Herausforderung für das Recycling dar.

Vor diesem Hintergrund sind die Zielsetzungen dieser Fallstudie, zu beleuchten, welchen Stand die Umsetzung der Kreislaufidee beim Elektronikrecycling in Deutschland hat, welche Herausforderungen existieren und welche Ansatzpunkte es gibt, um in Zukunft eine Kreislaufwirtschaft im Bereich des Recyclings von Elektronikschrotts zu realisieren. Vor diesem Hintergrund untersucht diese Fallstudie zunächst Entwicklung und Stand des Elektroschrott-Recyclings (6.4.1), die Funktionsweise des Recyclings im Bereich des Elektronikschrotts

(6.4.2) und, welche Zukunftspotenziale das Elektroschrott-Recycling besitzt (6.4.3). Darauf aufbauend wird das Elektronikschrott-Recycling in NRW beleuchtet (6.4.4) und es wird gefragt, welche Handlungsoptionen für die zukünftige Umsetzung der Kreislaufwirtschaft bestehen (6.4.5).

Entwicklung und Stand des Recyclings von Elektronikschrott

Elektronikschrott als Ressource

Die Produktkategorien, die nach dem *Gesetz über das Inverkehrbringen, die Rücknahme und die umweltverträgliche Entsorgung von Elektro- und Elektronikgeräten (ElektroG)* zum Elektronikschrott gezählt werden, sind sehr heterogen (Abb. 4.7.1). Dies hat auch zur Folge, dass es für deren Behandlung und das Recycling jeweils gänzlich unterschiedliche Herausforderungen gibt. Bei Kühlgeräten ist zunächst die Absaugung des Kühlmittel-Ölgemisches aus dem Kühlkreislauf erforderlich, während Energiesparlampen maschinell zerkleinert und im Anschluss mit einem Nass- oder Trockenverfahren behandelt werden. Bei Computer- und Fernsehbildschirm ist demgegenüber zunächst eine maschinelle Zerlegung erforderlich, um schadstoffhaltige Teile wie Batterien oder Kathodenstrahlröhren von Röhrenfernsehern getrennt zu verarbeiten, genauso wie Leiterplatten mit wertvollen Inhaltsstoffen.

Abb. 4.7.1: Einteilung von Elektronikschrott nach Produktkategorien

1. Wärmeüberträger

u.a. Kühlschränke, Gefrierschränke, Klimageräte

2. Bildschirme, Monitore

u.a. Laptops, Flachbildschirm -Fernseher, Kathodenstrahlröhren -Monitore

3. Lampen

u.a. LED-Lampen, Kompaktleuchtstofflampen, gerade Leuchtstoffröhren

4. Großgeräte

u.a. Geschirrspülmaschinen, Waschmaschinen, Freizeitgeräte, Professionelle Werkzeuge/IT-Ausstattung

5. Kleingeräte

u.a. Haushaltskleingeräte, kleine Unterhaltungselektronik, Video - und Musiktechnik

6. Kleine Geräte der Informations- und Telekommunikationstechnik

u.a. Mobiltelefone, Spielekonsolen, Drucker, IT-Kleingeräte

Eigene Darstellung nach dem ElektroG und Forti et al. (2018).

²³ Der Begriff „Elektronikschrott“ wird hier synonym für Elektro- und Elektronikschrott verwendet, deren Entsorgung im ElektroG geregelt ist.

Abbildung 4.7.2 enthält zentrale Inhaltsstoffe von Elektronikschrott. Insgesamt finden sich mehr als 50 Metalle, teilweise (wie bei Kupfer) in deutlich höheren Konzentrationen als beim Primärabbau. So finden sich in modernen Smartphones mehr

als 70 von 83 stabilen Elementen (Rohrig 2015). Darunter sind auch Stoffe mit einem hohen Risiko in Hinblick auf die Rohstoffverfügbarkeit wie Gallium, Germanium oder Palladium. In Hinblick auf den Marktwert ist Gold der wichtigste Inhaltsstoff.

Abb. 4.7.2: Zentrale Inhaltsstoffe von Elektroschrott

Inhaltsstoff	Gewichtsprozent
Eisen-Stahl	50%
Kunststoffe Polycarbonate Polystyrol andere Nichtmetalle (Keramik)	10-30%
mehr als 70 andere Metalle in kleineren Mengen, u.a. mit hohem Risiko Chrom, Gallium, Germanium, Indium, Palladium, Silber mit mittlerem Risiko Cadmium, Gold, Nickel, Kupfer, Zink, Blei Zinn	20-40%

Eigene Darstellung nach Nithya et al. (2020) und Birich et al. (o.J.).

Entwicklung des rechtlichen Rahmens im System für das Recycling von Elektronikschrott

Das gegenwärtig existierende System zum Recycling von Elektronikschrott funktioniert in vielerlei Hinsicht bereits gut. Basis sind die verschiedenen Regulierungen beginnend mit dem Kreislaufwirtschaft- und Abfallgesetz aus dem Jahr 1996, das den Rahmen für das Altgeräterecycling geschaffen und entwickelt hat (Abb. 4.7.3).

Ziel des Systems ist die Vermeidung von Gefahren für die Umwelt und die Etablierung eines funktionierenden Recyclings von Elektronikschrott. Die Elektro- und Elektronik-Altgeräte-Richtlinie der EU (Richtlinie 2002/d96/EU, WEEE Richtlinie) wurde in Deutschland durch das Elektro- und Elektronikgerätesgesetz umgesetzt. Die spätere Neufassung der Richtlinie (WEEE II, Richtlinie 2012/19/EU) wurde im Oktober 2015 durch die Neufassung des Gesetzes über das Inverkehrbringen, die Rücknahme und die umweltverträgliche Entsorgung von Elektro- und Elektronikaltgeräten (ElektroG) umgesetzt.

Gemäß des ElektroG existiert eine geteilte Produktverantwortung:

- Die öffentlich-rechtlichen Entsorgungsträger richten Sammelstellen ein, an denen Elektronikaltgeräte kostenlos zurückgenommen werden können. Derzeit existieren ca. 2.400 kommunale Sammelstellen, u.a. an Wertstoffhöfen.

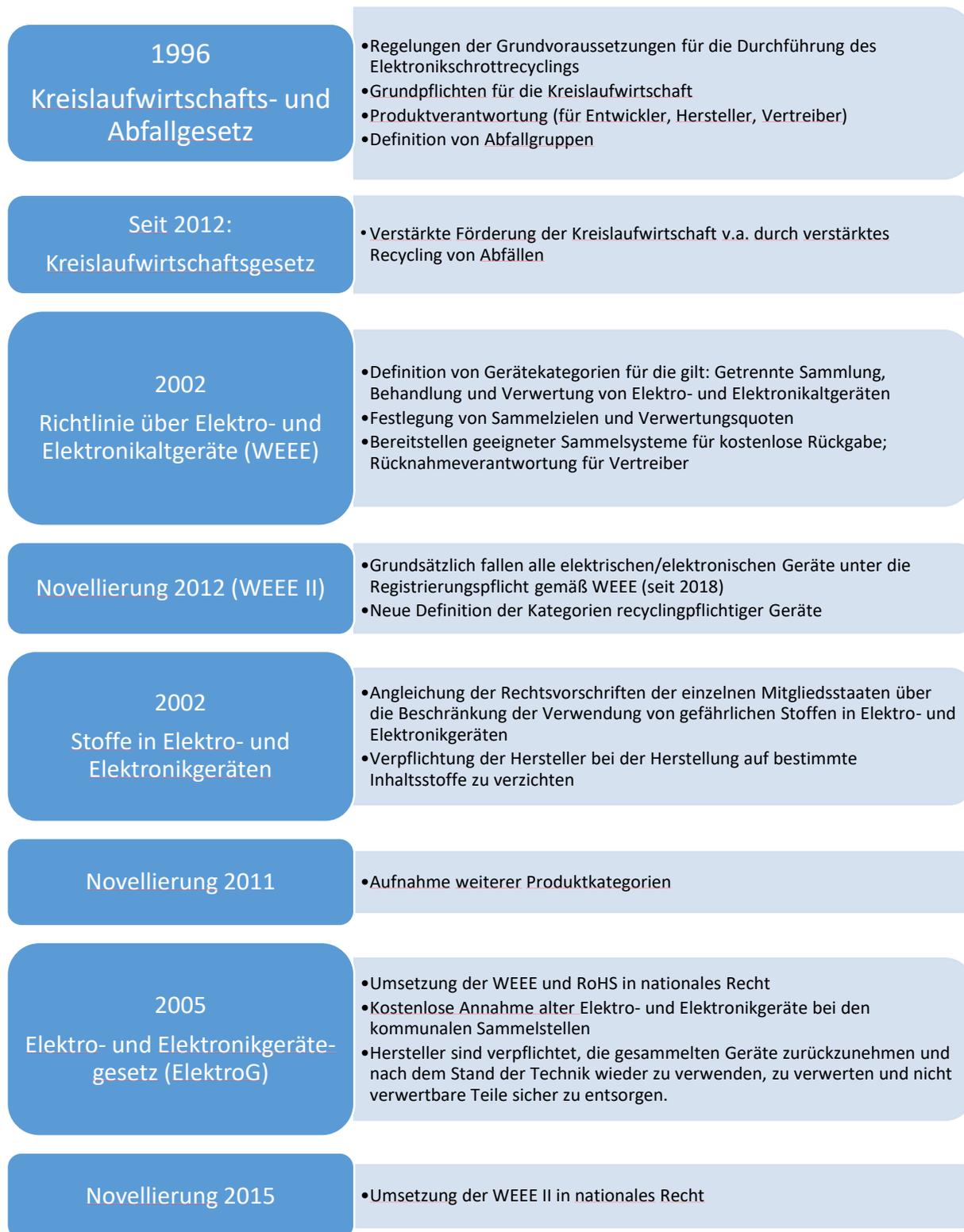
- Ab 2016 sind darüber hinaus Händler als Vertreter verpflichtet, kleine Altgeräte unentgeltlich zurückzunehmen. Darüber hinaus besteht eine Verpflichtung zur unentgeltlichen Rücknahme größerer Geräte beim gleichzeitigen Neukauf eines Geräts der gleichen Geräteart.
- Die Hersteller von Elektronikaltgeräten können freiwillig eigene Rücknahmesysteme für Altgeräte etablieren. Darüber hinaus sind sie für die ordnungsgemäße Entsorgung der zurückgenommenen Altgeräte verantwortlich.

Die Produkte aus den sechs Produktgruppen werden wegen der unterschiedlichen Behandlungs- und Verwertungsverfahren an den kommunalen Sammelstellen getrennt gesammelt.

Darüber hinaus steuert die WEEE-Richtlinie das Recycling über Sammelziele (Mindestsammelquote) sowie Recycling- und Verwertungsquoten, die Deutschland an die EU berichtet:

- Die Sammelquote beträgt seit 2016 45% des Durchschnittsgewichts der in den drei Vorjahren in den Verkehr gebrachten Elektronikgeräte (2018 wurde eine Sammelquote von 43% erreicht; UBA 2020).
- Ab 2019 erhöhte sich die Sammelquote bezogen auf die Masse auf 65%.
- Die Verwertungsquoten nach ElektroG unterscheiden sich zwischen den einzelnen Produktkategorien.

Abb. 4.7.3: Entwicklungen der relevanten Regulierungen im Bereich der Elektroaltgeräte



Eigene Darstellung nach UBA (2020), Greif et al. (2007), Chaudhary und Vrat (2018) und Koellner und Fichtler (1996).

Funktionsweise und Wirkungsmechanismen des Recyclings von Elektronikschrott

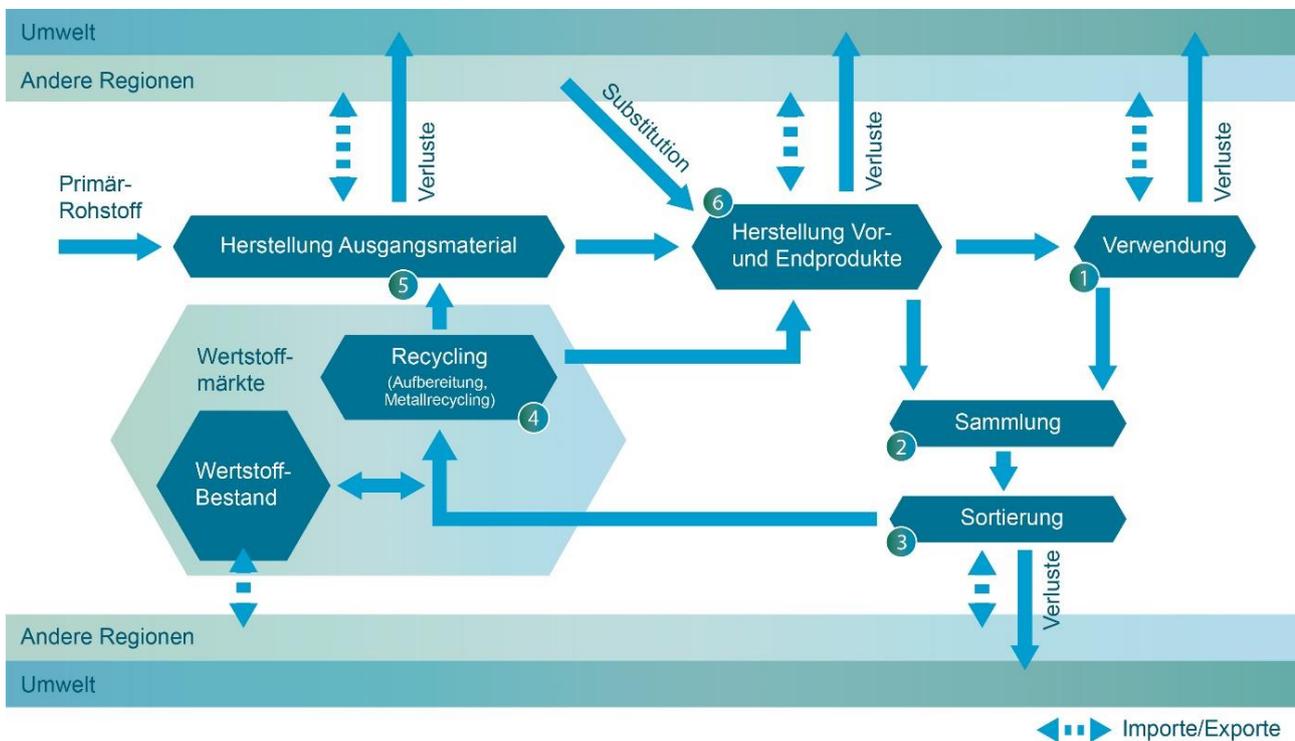
Recyclingkreislauf

Das in der EU etablierte System des Elektronikschrott-Recyclings hat dazu geführt, dass im Jahr 2019 43% des Elektro-schrotts recycelt wurde. In Deutschland lag die Sammelquote 2018 bei 43% (UBA 2020). Ab 2019 war eine Sammelquote von 65% verpflichtend.²⁴ Damit ist die EU weltweit führend beim Recycling von Elektronikschrott (Nithya et al. 2020). Gleichzeitig bestehen noch erhebliche Effizienzpotenziale (van Eygen et al. 2016).

Das Gesamtsystem des Elektronikschrott-Recyclings ist vereinfacht in Abbildung 4.7.4 dargestellt. In Anschluss an die

Verwendung (1) werden die Produkte hauptsächlich über die kommunalen Sammelsysteme und über den Handel gesammelt (2). Für die Verbraucher besteht eine Verpflichtung, diese über die Sammelsysteme und nicht im Restmüll zu entsorgen, trotzdem findet hier ein Verlust statt, der minimiert werden sollte. Mehr als 90% des Elektronikschrotts stammt von privaten Haushalten, der Rest von anderen Nutzern (UBA 2020). Möglich ist, dass in diesem Schritt nicht mehr funktionierende Geräte ins außereuropäische Ausland exportiert werden, wo die Umweltstandards beim Recycling teilweise erheblich niedriger sind als in Deutschland. In zahlreichen Ländern existiert ein informeller Sektor, in dem die am Recycling Beteiligten nicht vor Gesundheitsgefahren geschützt werden, die durch austretende Schadstoffe entstehen

Abb. 4.7.4: Gesamtsystem des Elektronikschrottrecyclings



Eigene Darstellung.

Im Anschluss an die Sammlung wird der Elektronikschrott zunächst in die sechs Produktkategorien sortiert und im Anschluss weiter sortiert, sodass verschiedene Fraktionen entstehen (3). Beispielsweise werden Fernseh- und Computerbildschirme weiter zerlegt, um schadstoff- und wertstoffhaltige Bestandteile getrennt recyceln zu können. Im Rahmen dieser Aufbereitung wird der Elektronikschrott sortiert, zerlegt und zerkleinert. Dabei werden bereits erste Fraktionen abgesondert (wie Eisen, Aluminium, Kunststoff und Glas/Keramik).

Die verbleibenden Fraktionen (Leiterplatten, metallhaltige Stäube und eine kupferreiche Fraktion) beinhalten die werthaltigen und risikobehafteten Metalle und gehen in das Metallrecycling (4). Im Kern der traditionellen Recyclingverfahren stehen Schmelzprozesse, in denen die enthaltenen Metalle lediglich teilweise wiedergewonnen werden. Im Rahmen des Recyclings ergeben sich spezifische Probleme etwa durch anhaftende Kunststoffe. Daher wird im Rahmen des traditionellen Recyclingprozesses dem Schmelzprozess eine thermische Vorbehandlung (Pyrolyse) vorgeschaltet, um den Kunststoff

²⁴ Gemäß WEEE Richtlinie: „Ab 2019 beträgt die jährlich zu erreichende Mindestsammelquote 65% des Durchschnittsgewichts der Elektro- und Elektronikgeräte, die in den drei Vorjahren im betreffenden Mitgliedstaat in Verkehr gebracht wurden, oder alternativ

dazu 85% der auf dem Hoheitsgebiet dieses Mitgliedstaats anfallenden Elektro- und Elektronik-Altgeräten“ (EU 2012).

abzuspalten. Die Gewinnung der metallischen Bestandteile ist mit Herausforderungen verbunden, sodass verschiedene Prozesse zur Gewinnung der verschiedenen enthaltenen Metalle führen (Nithya et al. 2020: 1354). Die aus dem Recycling gewonnenen Metalle können in der Regel zu 100% ohne Qualitätsverluste wieder als Ausgangsmaterial bei der Herstellung von Produkten genutzt werden (5 und 6).

Effizienzpotenziale

Auch wenn in den vergangenen Jahren durch die neueren Regulierungen des Recyclings von Elektronikschrott große Fortschritte gemacht wurden, bleiben erhebliche Effizienzpotenziale, die in Zukunft gehoben werden können:

- Wichtige Maßnahmen zur Erhöhung der Effizienz des Gesamtsystems setzen an der Verwendung (1) an. Dazu gehört die Information der privaten Haushalte, dass elektronische Geräte nicht im Restmüll entsorgt werden sollen, um Ressourcen zu schonen und Emissionen zu verhindern. Auch das Konsumverhalten hat einen langfristigen Effekt auf den Kreislauf, indem es die Menge des anfallenden Elektronikschrotts beeinflusst. So kann durch eine längere Nutzung von Elektronikgeräten ein Beitrag zur Ressourcenschonung geleistet werden.
- Im Rahmen der Sammlung (2) gibt es spezifische Herausforderungen bei der Erhöhung der erfassten Menge. Neben dem Ausbau der Rücknahmemöglichkeiten sollten Haushalte animiert werden, ungenutzte alte Geräte dem Recycling zuzuführen. Ferner besteht im Rahmen der Sammlung die Herausforderung, illegale Abgriffe und Exporte von Elektronikgeräten zu verhindern. Hier stellt insbesondere die falsche Deklaration als Gebrauchtgeräte für nicht funktionsfähige Geräte ein Problem dar. In vielen Entwicklungsländern existieren keine professionellen Strukturen, um das umweltschonende Recycling von Elektronikschrott zu ermöglichen.
- Effizienzpotenziale bei den Sortiertechnologien (3) sind im Zusammenhang mit dem Recyclingprozess zu sehen. So führt die mechanische Zerkleinerung und Sortierung in den Behandlungsanlagen dazu, dass ein Teil der Edel- und Sondermetalle in andere Fraktionen gelangt und nicht mehr vollständig zurückgewonnen wird. Um die Ausbeute zu erhöhen, ist eine Optimierung des Gesamtprozesses aus Sortierung und Recyclings erforderlich.
- Beim Recyclingprozess (4) bestehen mehrere Möglichkeiten, die Materialausbeute zu erhöhen. Dies kann die Kunststoff-Fraktion betreffen, indem durch chemisches Kunststoffrecycling zukünftig die Verbrennung von Reststoffen verringert wird und dafür der stofflich verwertete Anteil steigt. Erhebliche Potenziale bietet auch das Metallrecycling aus Elektronikschrott. Dabei können verschiedene Verfahren in einem mehrstufigen Prozess zum Einsatz kommen, die zu einer deutlichen Erhöhung der Ausbeute führen können. Neben den pyrometallurgischen

Verfahren, die derzeit Standard sind, ruhen in diesem Zusammenhang Hoffnungen auf hydrometallurgischen Verfahren (Birich et al. o.J., Nithya et al. 2020). Die Forschung zielt in diesem Bereich auf eine Erhöhung der Effektivität bei der Gewinnung von Metallen, indem bestehende Herausforderungen (Heterogenität, hoher Energiegehalt des Schrottes und Abtrennung von anderen Stoffen wie Kunststoffen oder Keramik) adressiert werden.

- Bei der Herstellung von Ausgangsmaterial (5) bestehen speziell beim Recycling von Elektronikschrott keine größeren Herausforderungen, da die gewonnenen Metalle ohne Qualitätsverlust wiederverwendet werden können. Demgegenüber stellt die Produktion von Zwischen- und Endprodukten (6) einen wichtigen Ansatzpunkt dar. So können Produkte so hergestellt werden, dass sie sich besser recyceln lassen. Gerade im Bereich des Elektronikschrotts steht das *zirkuläre Design* noch am Anfang, genauso wie das Design für eine längere Nutzung. Gerade bei Computern und Handys ist die Nutzungsdauer teilweise dadurch begrenzt, dass es ab einem bestimmten Zeitpunkt keine Aktualisierung der Software mehr gibt. Darüber hinaus sind bestimmte Bauteile wie Batterien fest verbaut und lassen sich nicht einfach austauschen.
- Notwendig wäre auch eine effektive Erstbehandlung von Elektroschrott, um gefährliche Abfälle zu selektieren, damit die angestrebte Erfassungsquote für Elektroaltgeräte auch erreicht werden kann, da hiermit eine steigende Menge gefährlicher Abfälle aus Elektroschrott verbunden sein wird (MULNV NRW 2021: 147ff.).

Diese Darstellung zeigt, dass das gegenwärtige Recycling noch weit von einem effizienten System entfernt ist. An allen Punkten des Kreislaufs gibt es große Effizienzpotenziale und wichtige Ansatzpunkte für eine Verbesserung des Recyclings. Gleichzeitig zeigt die Erfahrung aus vergleichbaren Systemen, dass das Verhalten der einzelnen Akteure im System durch die institutionellen Rahmenbedingungen bestimmt ist. Weitere Entwicklungen auf institutioneller Ebene geben dem Gesamtsystem die nötige Flankierung in Richtung einer Kreislaufwirtschaft (vgl. 6.4.5).

Technologische Entwicklung und Marktpotenziale bis 2030

Das Recycling von Elektronikschrott ist gekennzeichnet durch

- eine nicht vorhersehbare Entwicklung der Produkteigenschaften und zukünftigen Produktvielfalt,
- schwer zu prognostizierende Veränderungen in den Konsumentenpräferenzen,
- von den Rahmenbedingungen abhängende Reaktionen der Hersteller und Handelsunternehmen (*zirkuläres Design*) sowie

- eine erhebliche Abhängigkeit der Entwicklung vom gegebenen institutionellen Rahmen.

Dabei wird ein Basis-Szenario zwei Alternativszenarien gegenübergestellt. Im Basis-Szenario wird in Abbildung 4.7.5 die gegenwärtige Situation in die Zukunft projiziert.

Das führt dazu, dass Prognosen der zukünftigen Entwicklung kaum möglich sind. Dennoch gestattet die Gegenüberstellung möglicher Szenarien die Identifikation von wichtigen Stell-schrauben für die Beeinflussung des Recyclingkreislaufs. Die Darstellung verschiedener Entwicklungsszenarien orientiert sich hier an der Darstellung in Parajuly et al. (2019) und entwickelt diese weiter.

Das hätte aufgrund der gegenwärtig bestehenden ineffizienten Anreize einen erhöhten Ressourcenverbrauch und eine höhere Umweltbelastung zur Folge. In Hinblick auf den Sekundärrohstoffeinsatz werden dabei künftig mögliche Potenziale nicht ausgeschöpft.

Abb. 4.7.5: Basisszenario

Elemente / Akteure	Charakteristika
Rahmenbedingungen / Politik	Konstante Rahmenbedingungen Keine weiteren Anstrengungen in Richtung <i>zirkuläres Design</i> Keine stringente Durchsetzung von gesetzten Recyclingzielen Keine Durchsetzung von Exportbeschränkungen
Konsumenten	Keine Berücksichtigung der Umweltauswirkungen des Konsums Geringe Wiederverwendung und wenig Reparatur von Produkten
Hersteller	Keine Berücksichtigung des Produktlebenszyklus bei Produzenten Weiterentwicklung von Produkten auf Basis von Konsumentenpräferenzen Keine besonderen Anstrengungen für <i>zirkuläres Design</i> (keine Feed-Back-Loops) Orientierung an kurzem Lebenszyklus der Produkte (geringe Anstrengungen für die Wiederverwendung)
Sammlung / Trennung / Recycling	Orientierung an der Sammlung und Recycling von End-of-Life-Produkten Recycling wird bestimmt von ökonomischen Anreizen, die durch ein „cherry-picking“ beim Recycling einzelner Rohstoffe gekennzeichnet sind. Potenziale der Wiederverwendung werden nicht realisiert Keine systemübergreifende Optimierung der Ressourcennutzung
Elektroschrottanfall	Moderate Mengenzunahme, Veränderung der Zusammensetzung
Auswirkungen	Hoher <i>environmental footprint</i> durch die zunehmende Nutzung risikobehafteter Rohstoffe Export von Elektronikschrott mit entsprechenden Umweltwirkungen Keine Nutzung der Potenziale <i>zirkulärer Designs</i>

Eigene Darstellung, angelehnt an Parajuly et al. (2019).

Demgegenüber geht das Regulierungsszenario (Abb. 4.7.6) davon aus, dass es zu einer optimalen Weiterentwicklung der Rahmenbedingungen kommt. Dies hat zur Folge, dass im Zeitablauf insbesondere der Recyclinganteil bei einzelnen Rohstoffen innerhalb des Kreislaufs zunimmt. Aufgrund gesetzlicher Vorgaben für die Hersteller erhöht sich die tatsächliche

Lebensdauer der Produkte. Während das Recycling effizienter wird, bleibt das Konsumverhalten unverändert. Damit sinkt der Einsatz von Primärrohstoffen, während gleichzeitig der Anfall von Elektronikschrott weitgehend unverändert bleibt.

Abb. 4.7.6: Regulierungsszenario

Elemente / Akteure	Charakteristika
Rahmenbedingungen / Politik	Gezielte Weiterentwicklung der rechtlichen Rahmenbedingungen, Stopfen von Schlupflöchern Strikte Regulierung und Weiterentwicklung des End-of-Life-Recyclings (Materialnutzung) Recyclingquoten für einzelne Rohstoffe Steigerung der garantierten Lebensdauer von elektronischen Geräten Strikte Durchsetzung der Regulierungen mit steigenden Sammel- und Recyclingraten
Konsumenten	Kosten der Maßnahmen werden an die Konsumenten weitergegeben Konsumverhalten bleibt unverändert
Hersteller	Hersteller passen sich an geänderte Rahmenbedingungen an Gesetzliche Vorgaben (z.B. in Bezug auf die Verfügbarkeit von Ersatzteilen oder Softwareupdates) werden umgesetzt Strikte Umsetzung der Verantwortung für das Recycling von Produkten
Sammlung / Trennung / Recycling	Implementierung von Zielen für die Sammlung und das Recycling von Rohstoffen Weiterentwicklung der Recyclingtechnologie
Elektroschrottanfall	Moderate Mengenzunahme, keine Änderung gegenüber dem Basisszenario
Auswirkungen	Verbesserung der Verfügbarkeit von Rohstoffen aus dem Recycling Regulierung des Einsatzes toxischer Materialien

Eigene Darstellung, angelehnt an Parajuly et al. (2019).

Das Nachhaltigkeitsszenario (Abb. 4.7.7) geht von einer Veränderung des Konsumstils wie auch einer Änderung der Geschäftsmodelle bei Herstellern aus. Bei den Herstellern steht die Erhöhung der Lebensdauer der Produkte und ein *zirkuläres Design* im Mittelpunkt, das die Reparatur der Produkte erleichtert. Darüber hinaus nimmt die Bedeutung ressourcenschonender Geschäftsmodelle zu. Das Sammel- und Recyclingsystem entwickelt sich grundsätzlich wie im Regulierungsszenario weiter, wobei jedoch ein Schwerpunkt auf die Reparatur und Wiederverwendung von Produkten gelegt wird. Ge-

genüber dem Regulierungsszenario ist die Menge an Elektronikschrott geringer. Durch die nachhaltige Wirtschaftsweise sinkt der ökologische Fußabdruck und damit auch die Inanspruchnahme natürlicher Rohstoffe.

Als Handlungsoption aus den Szenarien ergibt sich, dass die Weiterentwicklung des Recyclings von Rohstoffen von einer Kombination aus einer gezielten Weiterentwicklung der institutionellen Rahmenbedingungen und der Einstellung der am Gesamtsystem Beteiligten abhängt.

Abb. 4.7.7: Nachhaltigkeitsszenario

Elemente/ Akteure	Charakteristika
Rahmenbedingungen/ Politik	<p>Politik setzt Anreize für weniger ressourcenintensive Produkte</p> <p>Gesetzgebung berücksichtigt Ressourcenschonung und Umweltwirkungen entlang des gesamten Produktlebenszyklus</p> <p>Umsetzung einer Politik für die Wiederverwendung von Produkten</p>
Konsumenten	<p>Nachhaltiger Konsumstil (Konsumenten sind über Umweltwirkungen informiert)</p> <p>Hohe Bereitschaft zur Abgabe ausgedienter Produkte in die Sammelsysteme</p> <p>Stärkerer Fokus auf Reparatur von elektronischen Geräten</p>
Hersteller	<p>Hersteller adressieren die Umsetzung eines nachhaltigen Produktions- und Konsumstils</p> <p>Steigende Lebensdauer der Produkte, Herstellung von Produkten, die sich leichter reparieren lassen und ressourcenschonende Produktion</p> <p>Alternative, ressourcenschonende Geschäftsmodelle (Leasing, Angebot an Gesamtsystemen Produkt-Dienstleistung)</p> <p>Umsetzung von <i>zirkulären Designs</i> und Entwicklung eines Marktes für die Reparatur</p>
Sammlung / Trennung/ Recycling	<p>Optimierung und Weiterentwicklung des Sammel- und Trennsystems (wie im Regulierungsszenario)</p> <p>Weiterentwicklung des Sammelsystems mit Priorität auf die Wiederverwendung ausgedienter Produkte</p> <p>Neue Technologien wie 3D Druck helfen bei der Reparatur und Wiederverwendung ausgedienter Produkte</p>
Elektroschrottanfall	<p>Absolut gesehen zunehmende Menge an Elektronikschrott durch sich erhöhende Nutzungsmöglichkeiten elektronischer Bauteile und damit vermehrte Anwendungen</p> <p>Weniger Elektronikschrott als im Regulierungsszenario durch die Wiederverwendung von Produkten und eine längere Lebensdauer</p>
Auswirkungen	<p>Abnehmender ökologischer Fußabdruck durch eine nachhaltigere Wirtschaftsweise</p> <p>Geringere Ressourcennutzung durch zunehmenden Einsatz von Sekundärrohstoffen (insbesondere risikobehaftete Metalle)</p>

Eigene Darstellung, angelehnt an Parajuly et al. (2019).

Beitrag der Industrie und Forschung in NRW zum Recycling von Elektronikschrott

Die Industrie in NRW weist zahlreiche Aktivitäten auf, die unmittelbar mit dem Recycling von Elektronikschrott verknüpft sind. So sind die Eisen- und Stahlindustrie sowie die Gießereien wichtige Abnehmer von Sekundärrohstoffen aus dem Recycling von Elektronikschrott. Darüber hinaus ist der Bundesverband Sekundärrohstoffe und Entsorgung in Bonn ansässig. Dieser vertritt Unternehmen der Sekundärrohstoff-, Recycling- und Entsorgungswirtschaft in den Bereichen

Schrott, Elektroschrott und Kfz-Recycling. Auch Rohstoffanbieter wie die RHM Rohstoffgesellschaft mbH sind in NRW ansässig, die die Aufbereitung und Sortierung von gesammeltem Schrott übernehmen. Eine besondere Rolle spielt deutschlandweit die Firma Aurubis mit Standorten in Lünen, Stolberg und Emmerich, die sich auf den Einkauf und das Recycling von Metallen aus Elektronikschrotten spezialisiert hat. Das Recycling von Elektronikschrotten erfolgt am Standort Lünen im Anschluss an die Zerkleinerung in einer Materialvorbereitungsanlage mit einer pyrolytischen Verarbeitung.²⁵

²⁵ <https://www.aurubis.com/de/produkte--leistungen/recycling/technologie>, Abruf vom 15.06.2021.

Geforscht wird im Bereich des Recyclings von Elektronikschrott in NRW u.a. am Institut für Metallurgische Prozesstechnik und Metallrecycling an der RWTH Aachen.²⁶ Im Mittelpunkt steht dabei die Weiterentwicklung metallurgischer Recyclingprozesse für das Recycling von Basismetallen, Edelmetallen und risikobehafteten Metallen. Stattdessen steht insbesondere die Weiterentwicklung pyro- und hydrometallurgischer Verfahren in Hinblick auf ihre Effizienz. Forschungsaktivitäten finden darüber hinaus zum chemischen Recycling von Kunststoffen statt, welches für die Kunststofffraktionen des Elektronikschrotts in Zukunft Bedeutung erlangen kann.

Umsetzung des Konzepts einer Kreislaufwirtschaft: Handlungsoptionen

Abbildung 4.7.8 zeigt Entwicklung und Stand des Elektronikschrott-Recyclings in Deutschland. Zentrale Elemente eines funktionierenden Systems wurden in der Vergangenheit entwickelt. Dazu gehören die Produktverantwortung der Hersteller bzw. die geteilte Produktverantwortung als zentrale Grundlage für die Umsetzung der Kreislaufidee, das Einrichten zentraler Sammelstellen in den Kommunen und die Ausweitung der Anwendung der Regelungen auf neue Produktkategorien.

Abb. 4.7.8: Entwicklungen im Recycling von Elektronikschrott und Weg hin zur Kreislaufwirtschaft



Eigene Darstellung nach UBA (2020), Greif et al. (2007), Chaudhary und Vrat (2018) und Koellner und Fichtler (1996).

Gleichzeitig hat das existierende System noch erhebliche Schwachstellen, die Ansatzpunkte für eine Weiterentwicklung in Hinblick auf eine Kreislaufwirtschaft bieten. Dazu gehören:

- Eine Erhöhung der Sammelmenge durch Aktivitäten, wie dem Ausbau der Rücknahmemöglichkeiten.
- Die Weiterentwicklung und Optimierung der Technologien in den Bereichen des Schredderns, der Sortierung und des Recyclings. Dazu gehört einerseits ein verbessertes Sortieren der verschiedenen Produktkategorien. Andererseits müssen auch die Potenziale der existierenden Technologien ausgeschöpft werden.

- Die gezielte Entwicklung der Verwertung bestimmter Gerätegruppen, die in Hinblick auf Gesamtmenge, weitere Entwicklung und Inhaltsstoffe von großer Bedeutung sind (z.B. große Bildschirmgeräte, Photovoltaikmodule).
- Das Eindämmen illegaler Exporte von Elektronikschrott.

Wo das ökonomische Optimum in Zukunft liegt, wird insbesondere durch die Weiterentwicklung der Recyclingtechnologien bestimmt. Je effizienter es gelingt, die einzelnen Inhaltsstoffe des Elektronikschrotts zu separieren und zu recyceln, desto näher wird ein effizientes Recyclingsystem einem geschlossenen Kreislauf kommen und desto geringer werden Verluste im Rahmen des Recyclings bleiben.

²⁶ http://www.metallurgie.rwth-aachen.de/new/src/index2.php?route=forschung_projekte_detail_new&typ=7, Abruf vom 21.06.2021.

4.8 Etablierung einer Kreislaufwirtschaft und Sekundärrohstoffe: Lessons Learned

Die Etablierung einer Kreislaufwirtschaft wird in Zukunft die Abhängigkeit von NRW von strategisch wichtigen Primärrohstoffen erheblich vermindern. Dies geschieht über die Entwicklung und sukzessive Verbesserung von funktionierenden Recyclingkreisläufen. Die hier betrachteten Kreisläufe insbesondere im Batterierecycling und Recycling von Elektronikschrott sind von zentraler Bedeutung für die Versorgung der NRW-Schlüsselindustrien mit risikobehafteten Rohstoffen. Dabei besitzen die Rahmenbedingungen, die auf EU- und Bundesebene gesetzt werden, eine zentrale Rolle. Darüber hinaus sollte NRW auf regionaler Ebene wichtige Impulse für die erfolgreiche Etablierung einer Kreislaufwirtschaft setzen (vgl. MWEIMH et al. 2016) und somit eine komplementäre Rolle zur EU- und Bundesebene spielen. Aus den Erfahrungen, die in den untersuchten Fallstudien gewonnen wurden, lassen sich klare Erkenntnisse in Hinblick auf die Rolle von Regulierungen für die Entwicklung einer Kreislaufwirtschaft gewinnen:

- Die Umsetzung einer ökonomisch orientierten und effizienten Kreislaufwirtschaft benötigt einen gezielten Regulierungsrahmen. Ohne diesen, also allein durch das Wirken von Marktmechanismen kommt kein ökonomisch effizientes System zustande.
- Regulierungen können dabei einerseits bremsend wirken und die Dynamik des Entdeckungsverfahrens des Marktes behindern. Andererseits können sie neue Entwicklungen und die Entstehung neuer Märkte treiben. Welche von beiden Möglichkeiten zu beobachten ist, hängt von der Art und Ausgestaltung der Regulierungen ab.
- Die Gestaltung der Regulierungen für eine Kreislaufwirtschaft ist keine einmalige Aktivität. Vielmehr muss die Marktentwicklung laufend weiter beobachtet werden. Auch müssen die Regulierungen angepasst werden, wenn Lücken in den Kreisläufen offenbart werden oder die Marktakteure bestehende Regulierungen unterlaufen.
- Die staatlichen Stellen müssen in der Hinsicht mutig sein, dass nicht nur in einem Teilbereich des Kreislaufs reguliert wird. Bei der Umsetzung des Kreislaufgedankens muss in Bezug auf die Regulierung der gesamte Kreislauf im Blick behalten werden. Es sind auch Bereiche effizient zu regulieren, die nicht direkt mit dem Recycling zu tun haben, sondern an anderen Stellen des Kreislaufs ansetzen, etwa einer Produktentwicklung in Hinblick auf die Minimierung gefährlicher Abfälle (MULNV NRW 2021: 12).
- Eine Abwägung zwischen Regulierungsoptionen sollte immer auch den Nutzen und die Kosten der Regulierung im Blick haben, und zwar nicht nur auf das kurzfristige Nutzen-Kosten-Verhältnis. Vielmehr müssen auch mittelfristige Lerneffekte im Anschluss an die Etablierung eines neuen Systems in den Blick genommen werden.

Während die gesetzlichen Rahmenbedingungen für die Kreislaufwirtschaft auf Bundes- und EU-Ebene gesetzt werden, spielen die Bundesländer und die regionale Ebene eine zentrale Rolle bei der praktischen Umsetzung der Kreislaufwirtschaft. Ansatzpunkte für NRW ergeben sich für die Etablierung einer Kreislaufwirtschaft insbesondere an folgenden Stellen:

- Einen zentralen Ansatzpunkt bilden hier die **Forschung zu einer Weiterentwicklung der Recyclingsysteme**. Hier sind die Voraussetzungen in NRW besonders günstig, da bereits zahlreiche Aktivitäten in der wissenschaftlichen Forschung an Universitäten, Fachhochschulen und Forschungseinrichtungen existieren. Die Landesregierung sollte in enger Abstimmung mit dem Bund die Weiterentwicklung der Forschungsaktivitäten zur Lösung der bestehenden Probleme unterstützen, um damit auch einen Impuls für die Rohstoffsicherung in NRW zu setzen.
- Neben der Forschung hinsichtlich der bestehenden technischen Herausforderungen ist die Umsetzung der Systeme einer Kreislaufwirtschaft eine der zentralen Herausforderungen. Dazu gehören insbesondere **Modellvorhaben** zur Optimierung von Teilen der Recyclingkette. Diese können u.a. die Sammlung von End-of-Life-Produkten auf Haushaltsebene oder eine weitergehende Sortierung der gesammelten End-of-Life-Produkte umfassen. Solche Modellvorhaben liefern wichtige Best-Practice-Beispiele für eine Weiterentwicklung der Recyclingsysteme.
- Die **Vernetzung der verschiedenen Aktivitäten** im Bereich des Rohstoffrecyclings bietet weitere Ansatzpunkte. Hier finden bereits Aktivitäten statt, dennoch ist zu prüfen, inwieweit eine weitergehende Vernetzung einen zusätzlichen Nutzen entfaltet. So sind die Verfahren des chemischen Recyclings auch für das Recycling der Kunststoff-Fraktion aus dem Elektro-Schrott-Recycling von hoher Relevanz. Die im Rahmen des Recyclings von Traktionsbatterien entwickelten metallurgischen Verfahren besitzen eine technologische Nähe zu den hydro- und pyrometallurgischen Verfahren beim Elektroschrott-Recycling.
- Eine Möglichkeit ist, **ergänzend zu EU- und Bundesprogrammen gezielte vom Land finanzierte Fördermöglichkeiten** zu schaffen. Hier werden bereits jetzt Mittel aus dem EFRE-Fonds und der Braunkohle-Förderung genutzt, um vernetzte Aktivitäten im Bereich des Rohstoffrecyclings zu fördern. Es wäre sinnvoll, diese Aktivitäten weiter zu unterstützen und ggf. auszubauen.
- Dort wo entsprechende Gremien und Absprachen existieren, sollte **Einfluss auf die Ausgestaltung der Systeme auf Bundes- und EU-Ebene** genommen werden. Zielrichtung sollte die Weiterentwicklung der Kreislaufidee sein, bei gleichzeitiger Berücksichtigung der jeweils anfallenden Kosten insbesondere für die Industrie.

5. Handlungsoptionen und -empfehlungen

In diesem Abschnitt werden die Handlungsoptionen der Rohstoffpolitik aufgezeigt, speziell der NRW-Rohstoffpolitik, sowie Handlungsempfehlungen gegeben. Letzteres bezieht sich sowohl auf die Importrohstoffe und die heimisch geförderten Primärrohstoffe als auch auf die Sekundärrohstoffe und Maßnahmen für den Übergang zu einer Kreislaufwirtschaft. Schließlich werden für NRW noch einige Maßnahmen mit Leuchtturmcharakter empfohlen, durch die verschiedene Rohstoffthemen in besonderer Weise in den Fokus gerückt werden können. Die Ableitung der Empfehlungen basiert maßgeblich auf den in

den vorherigen Abschnitten im Rahmen dieser Studie erzielten Befunden. Es fließen aber explizit auch die Ergebnisse der zahlreichen Expertengespräche mit ein, in denen die aktuellen und perspektivischen rohstoffpolitischen Erfordernisse eingehend diskutiert wurden. Schließlich fließen die Auswertungen von Rohstoffberichten, -strategien und -studien ein, u.a. aca-tech et al. (2017 und 2021), Bardt et al. (2013), BDI (2017), Die Bundesregierung (2019 und 2020), Europäischer Ausschuss der Regionen (2021) und Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg (2019).

5.1 Ebenen politischer Einflussnahme auf die Rohstoffversorgung

Ausgangslage

Das Rohstoffangebot und die Rohstoffnachfrage steigen weltweit an. Während das Angebot durch vermehrte Explorationsanstrengungen und das Auffahren neuer Minen erhöht wird, nimmt die Nachfrage infolge des Bevölkerungs- und Wirtschaftswachstums sowie der Erhöhung des Lebensstandards zu. Hinzu kommt, dass neue Technologien einen zusätzlichen Rohstoffbedarf entfalten, was künftig bei einigen ohnehin schon risikobehafteten Rohstoffen zu erheblichen Nachfragesteigerungen führen dürfte. Dadurch steigen die Preisvolatilitäten und Lieferrisiken bei diesen Rohstoffen weiter an. Davon besonders betroffen ist die EU. Die Rohstoffnachfrage wird im Zuge der Etablierung von Zukunftstechnologien weiter steigen und heimische Rohstoffvorkommen sind in Bezug auf metallische Rohstoffe begrenzt. Dies lässt sich anhand dieser Relation veranschaulichen: Während nur ca. 5% der weltweiten Förderung risikobehafteter Rohstoffe in der EU erfolgen, verbraucht die EU ca. 20% davon (Europäischer Ausschuss der Regionen 2021: 3).

In Bezug auf metallische Primärrohstoffe ist die EU daher in hohem Maße auf Rohstoffimporte angewiesen. Wichtig ist daher, dass der Zugang zu den internationalen Rohstoffmärkten gewährleistet ist. Die Funktionsfähigkeit der Rohstoffmärkte wird allerdings zum Teil durch staatliche Maßnahmen der Rohstoffförderländer beeinflusst, wodurch die Wettbewerbsbedingungen verzerrt werden. Insbesondere werden die heimischen rohstoffnachfragenden Unternehmen oder solche Länder, mit denen die Rohstoffförderländer bilaterale Beziehungen pflegen, zu Lasten anderer rohstoffnachfragender Unternehmen und Länder bevorzugt. Dies erfolgt z.B. durch exklusive Lieferverträge, bevorzugte Rohstofflieferungen aufgrund von strategischen Beteiligungen an Bergbauunternehmen, durch Subventionen und Rohstoffrabatte oder durch Exportbeschränkungen (Zölle, Kontingente usw.).

Ziel dieser Maßnahmen ist es, die begünstigten Unternehmen bzw. Länder mit ausreichend Rohstoffen zu günstigen Konditionen zu versorgen und zugleich höhere Weltmarktpreise

durchzusetzen. Relevant ist ein solches marktverzerrendes Verhalten insbesondere dann, wenn sich die Rohstoffförderung auf nur wenige große und zudem politisch instabile Förderländer konzentriert. In dem Fall können solche marktverzerrenden Maßnahmen dann nämlich tatsächlich eine preisbeeinflussende Wirkung entfalten und im ungünstigsten Fall sogar zu einer Verknappung des physischen Angebots führen, mit der Folge stark steigender Preise bei den von den Marktinterventionen betroffenen Rohstoffen.

Es gibt aber nur wenige Beispiele, dass durch derartige Markteingriffe die Märkte über längere Zeiträume nachhaltig gestört wurden. Selbst China als das größte Rohstoffförderland der Welt vermochte dies trotz seiner enormen Wirtschaftskraft nur selten. Zwar hat China den Rest der Welt gelegentlich seine Marktmacht spüren lassen, letztendlich war es aber nicht im eigenen Interesse, die Funktionsfähigkeit der Rohstoffmärkte dauerhaft zu desavouieren. Zudem hat gerade ein so großes Rohstoffförderland ein vitales Interesse daran, seine Rohstoffe auf dem Weltmarkt abzusetzen. Der Umstand, dass die eigenen Unternehmen durch Subventionen, Rabatte und dergleichen möglicherweise alimentiert werden, muss und kann dann toleriert werden, wenn die betroffenen Rohstoffmärkte dadurch nicht zu sehr beeinträchtigt werden.

Die metallischen Primärrohstoffe müssen auch von NRW nahezu vollständig importiert werden, sodass die Importabhängigkeit hier bei nahezu 100% liegt. Anders sieht das bei den heimisch geförderten Primärrohstoffen aus, bei denen es sich in erster Linie um nichtmetallische Industriemineralien und Baurohstoffe handelt. Sie sind besonders für den Aufbau und die Erhaltung der Infrastruktur unverzichtbar, aber auch für diverse industrielle Anwendungen. Aufgrund ihrer zum Teil nur geringen Transportwürdigkeit – das gilt besonders für die Baurohstoffe Kies und Sand – sind Importe hier nur in begrenztem Maße möglich. Andere heimisch geförderte Rohstoffe sind weniger transportkostensensibel (z.B. Tone), sie werden daher ein- oder auch ausgeführt, wenn sie in ausreichender Menge und der erforderlichen Qualität vorkommen.

Es existiert aber ein entscheidender Unterschied zwischen eingeführten und heimisch geförderten Primärrohstoffen: Importrohstoffe implizieren zwar immer ein mehr oder weniger ausgeprägtes Preis- und Lieferrisiko, aber sie sind mit keiner Flächeninanspruchnahme im eigenen Land verbunden, wie das bei den heimisch gewonnenen Primärrohstoffen grundsätzlich immer der Fall ist. Die heimische Rohstoffförderung impliziert damit immer auch, dass es Flächennutzungskonflikte geben kann. Zum einen bezieht sich das auf die Ausweitung von Siedlungs- und Verkehrsflächen, die ansonsten möglicherweise auch für einen Rohstoffabbau infrage kämen, sowie land- und forstwirtschaftliche Nutzungen, zum anderen spielen mitunter Schutzanforderungen von Natur und Wasser eine Rolle. Es ist dann eine Güterabwägung zwischen diesen Nutzungs- und Schutzanforderungen vorzunehmen.

Zwar sind die Rohstoffvorräte in NRW noch für lange Zeit in ausreichender Menge verfügbar, die raumplanerischen Herausforderungen steigen aber. Die Aufsuchung neuer Rohstoffvorkommen, die sich bislang schwerpunktmäßig auf vergleichsweise konfliktfreie Räume konzentrierte, wird sich künftig vermehrt auch auf Flächen beziehen, die stärker von anderen Nutzungs- und Schutzanforderungen gekennzeichnet und damit konfliktbeladener sind. Auf Dauer könnte sich daher eine ausreichende Rohstoffversorgung zu vertretbaren Preisen gerade bei jenen Rohstoffen schwieriger gestalten, die durch eine steigende Nachfrage geprägt sein werden.

Sowohl in Bezug auf die importierten als auch die heimisch geförderten Primärrohstoffe ist die Gemengelage somit als durchaus schwierig zu bezeichnen und mit zahlreichen Unsicherheiten bzw. Risiken verbunden. Vor diesem Hintergrund stellt sich somit die Frage, welcher Primärrohstoffbedarf eigentlich künftig zu erwarten ist und wovon die damit einhergehende Nachfrageentwicklung abhängt, wobei sich jeweils, je nach betrachtetem Rohstoff, ein gemischtes Bild zeigt:

- **Wirtschaftswachstum:** Es gibt grundsätzlich einen Zusammenhang zwischen Wirtschaftswachstum und Rohstoffeinsatz dergestalt, dass der Rohstoffeinsatz umso ausgeprägter ist, je höher die Wachstumsraten ausfallen. Es hat sich aber bereits in der Vergangenheit gezeigt, dass sich der Rohstoffeinsatz vom Wachstum zunehmend abkoppelt. Demzufolge ist beispielsweise in den zurückliegenden zweieinhalb Jahrzehnten, die Rohstoffintensität tendenziell zurückgegangen bzw. die Rohstoffproduktivität gestiegen. Dieser Trend dürfte sich künftig noch weiter verfestigen, da sich die Rohstoffeffizienz weiter erhöhen wird und im Zuge der steigenden Recyclingfähigkeit der Produkte und der verbesserten Recyclingtechnologien Primärrohstoffe zunehmend durch Sekundärrohstoffe substituiert und Stoffkreisläufe damit geschlossen werden. Die NRW-Wirtschaft wird zudem mit nur knapp 1% p.a. bis 2035 eher verhalten wachsen.
- **Strukturwandel:** Zwar wird die Gesamtwirtschaft noch moderat wachsen, das Verarbeitende Gewerbe dürfte aber stagnieren und der Industrieanteil an der gesamtwirtschaftlichen Wertschöpfung damit weiter sinken. Die

NRW-Schlüsselindustrien werden sich aber unterschiedlich entwickeln. Die Grundstoffindustrien, also große Teile der Chemischen und der Stahlindustrie, stehen aufgrund der Umstellung ihrer energetischen Basis auf grüne Wasserstofftechnologien vor einer fundamentalen Transformation, vor dem Hintergrund der Elektrifizierung der Antriebe aber auch die Automobilindustrie. Diese Schlüsselindustrien stehen daher vor einer durchgreifenden Zäsur, die mit Auswirkungen auf die Struktur des Rohstoffeinsatzes verbunden sein wird. Der Maschinenbau sowie die Elektronik- und Elektroindustrie werden sich noch am dynamischsten entwickeln, wobei hier nahezu alle risikobehafteten Rohstoffe eingesetzt und auch viele Zukunftstechnologien etabliert werden. Die Entwicklung der Kunststoffindustrie ist am schwersten einzuschätzen, da der künftige Einsatz von Sekundärkunststoffen u.a. von der Entwicklung der Primärkunststoffpreise abhängt. Die Bauindustrie, die im engeren Sinne nicht zum Verarbeitenden Gewerbe gehört, und – durch deren Entwicklung bedingt – auch Teile der Keramikindustrie (Fliesen und Ziegel) dürften dagegen dynamisch wachsen, was vor allem in einer steigenden Nachfrage nach heimisch geförderten Rohstoffen zum Ausdruck kommen wird.

- **Etablierung von Zukunftstechnologien:** Im Zuge der technologischen Megatrends Digitalisierung, Automatisierung und Dekarbonisierung der Wirtschaft und der Elektrifizierung der Antriebe sowie der Energiewende werden in den NRW-Schlüsselindustrien damit einhergehende Zukunftstechnologien etabliert werden. Diese gehen jeweils mit einem zusätzlichen Bedarf an bestimmten (risikobehafteten) Rohstoffen einher. Auch wenn der Primärrohstoffbedarf der Industrie insgesamt zurückgehen dürfte, wird die Nachfrage nach einigen Importrohstoffen sprunghaft steigen. Bei diesen Rohstoffen ist dann ein besonderes Augenmerk in Hinblick auf die Sicherstellung der Versorgung zu legen, da ansonsten die Entfaltung der Zukunftstechnologien gefährdet werden könnte.
- **Bereitstellung von Sekundärrohstoffen:** Ein entscheidender Aspekt in Hinblick auf die künftige Rohstoffversorgung wird die Bereitstellung von Sekundärrohstoffen sein, um hierdurch Primärrohstoffe zu substituieren. Dazu sollten verschiedene Ansatzpunkte in den Blick genommen werden, und zwar (1) die Verbesserung der Recyclingfähigkeit der neu auf den Markt gebrachten Produkte (*zirkuläres Design*), (2) die Erhöhung des zur Verfügung stehenden Sekundärmaterials (u.a. Steigerung der Sammelquoten von Elektronikschrott, Verbesserung der Sortier- und Trenntechnologien, Unterbindung von (illegalen) Exporten von Schrotten und Alautos), (3) die Verbesserung der Recyclingtechnologien durch die Weiterentwicklung metallurgischer Wiedergewinnungsverfahren, (4) die Erhöhung der Verarbeitungskapazitäten für Sekundärmaterialien und (5) die Erhöhung der Akzeptanz für den Einsatz von Sekundärrohstoffen in neuen Produkten.
- **Umsetzung der Kreislaufwirtschaft:** Die Ergänzung der Produktgestaltung um die Eigenschaft Recyclingfähigkeit

(*zirkuläres Design*) wird auf dem Weg zu einer nachhaltigeren Kreislaufwirtschaft durch Schließung von Stoffkreisläufen an Bedeutung gewinnen. Eine geschlossene Kreislaufwirtschaft ist allerdings eine Utopie, die nie vollständig umsetzbar sein wird. Dies hängt mit dissipativen Verlusten bei der Produktion und Nutzung der Rohstoffe sowie beim Recycling, qualitativen Einbußen bei der Erstellung der Sekundärrohstoffe, Disproportionalitäten aufgrund der unterschiedlich langen Nutzungsdauer von Produkten, Rohstoffabgängen durch Exporte und die vermutlich auch auf Dauer gering bleibende Recyclingfähigkeit bei einigen metallischen Rohstoffen zusammen. Das wird zusammengenommen dazu führen, dass Stoffkreisläufe nicht gänzlich geschlossen werden, sodass auch weiterhin ein gewisser Einsatz von Primärrohstoffen erforderlich bleiben wird. Dennoch ist die Kreislaufwirtschaft ein guter Ansatz, an dem man sich unter Nachhaltigkeitsgesichtspunkten orientieren kann und sollte.

- **Realisierung einer effektiven Rohstoffpolitik:** Die rohstoffrelevanten Aspekte vermitteln einen Eindruck, welche Herausforderungen mit dem Thema Rohstoffe künftig einhergehen werden und an welchen Stellen sich politischer Handlungsbedarf ergeben könnte. Um den Erfordernissen bestmöglich gerecht zu werden, sollte die Rohstoffpolitik auf die zu erwartenden Entwicklungen hin ausgerichtet und optimiert werden. Im Folgenden werden verschiedene Ansatzpunkte für die Rohstoffpolitik vorgestellt und diskutiert sowie konkrete Maßnahmen empfohlen.

Ziele der Rohstoffpolitik

Vor dem Hintergrund der zuvor skizzierten Ausgangslage stellt sich anknüpfend daran die Frage, welche Ziele mit der Rohstoffpolitik verfolgt werden sollten. Dies sind vor allem:

- Vermeidung von Lieferengpässen bei Importen risikobehafteter Primärrohstoffe,
- Sicherstellung einer ausreichenden und nachhaltigen heimischen Primärrohstoffförderung,
- Senkung des Primärrohstoffbedarfs und Erhöhung der Rohstoffeffizienz,
- Verbesserung der Recyclingfähigkeit der Produkte und Steigerung der Verfügbarkeit von Sekundärmaterialien,
- Verbesserung der Recyclingtechnologien und Erhöhung von Recyclingkapazitäten und Sekundärrohstoffeinsatz,
- Etablierung einer auf die Schließung von Stoffkreisläufen ausgerichteten nachhaltigen Kreislaufwirtschaft.

Rohstoffpolitische Handlungsoptionen

Das rohstoffpolitische Leitmotiv von NRW sollte sein, dass die Hauptverantwortung für die Sicherung der Versorgung mit im-

portierten Primärrohstoffen bei der Industrie liegt. Der ordnungspolitische Rahmen wäre ein marktwirtschaftlicher Ansatz auf Basis eines freien Handels und eigenverantwortlicher Entscheidungen der betroffenen Akteure. Es gibt aber Umstände, die rohstoffpolitischen Handlungsbedarf begründen:

- internationale Handelskonflikte im Rohstoffbereich und große Marktmacht einzelner rohstofffördernder Länder,
- Verknappung von Importrohstoffen aufgrund von Nachfragesteigerungen infolge disruptiver Technologien,
- steigende Anforderungen in Hinblick auf sozial- und umweltgerechte Lieferketten,
- divergierende Flächennutzungsansprüche in Bezug auf die Förderung heimischer Rohstoffe,
- notwendige Verbesserungen der Produktdesigns, der Wertstoffsammlung und der Recyclingtechnologien,
- Ausbau der Kapazitäten von Anlagen zur Aufbereitung von Sekundärmaterialien zu Sekundärrohstoffen,
- Sicherung von Sekundärrohstoffen in Produkten zum Ende ihrer Lebensphase hin (PKWs, Handys, PC-Bildschirme, Batterien, Windkraftträder, Infrastruktur usw.).

Handlungsbedarf kann letztendlich in allen Bereichen der Rohstoffpolitik (Importrohstoffe, heimisch geförderte Primärrohstoffe, Sekundärrohstoffe) und auf allen Ebenen entstehen (WTO-, OECD-, EU-, Bundes- und NRW-Ebene). Die NRW-Rohstoffpolitik sollte sich dabei nicht nur an Stellen einbringen, an denen ihre Einflussmöglichkeiten unmittelbar gegeben sind, sondern auch dort, wo eigentlich andere Institutionen zuständig sind, NRW aber aufgrund seiner Größe und wirtschaftlichen Bedeutung auf die dort zu treffenden Entscheidungen einwirken kann. Vor diesem Hintergrund ergeben sich die folgenden grundsätzlichen Handlungsoptionen:

- Einbringung in nationale und supranationale Rohstoffregulierungen, -initiativen und -aktivitäten,
- Flankierung von Maßnahmen zur Rohstoffsicherung,
- Setzung rohstoffpolitischer Rahmenbedingungen (Anreize, Vorgaben, raumplanerische Maßnahmen usw.),
- Abbau bürokratischer Hemmnisse für Unternehmen im Rohstoffsektor durch die Gewährleistung schneller, effizienter und rechtssicherer Genehmigungsverfahren,
- Förderung der rohstoffrelevanten Forschung und Entwicklung, von Rohstoffpotenzialanalysen und Pilotstudien sowie von Demonstrationsanlagen,
- Intensivierung des Dialogs mit Stakeholdern im Rohstoffbereich (Wissenschaft, Wirtschaft, Verbände usw.),

- Information, Kommunikation, (Schul-)Bildung und Beratung zwecks Bewusstseinsbildung bei den Themen Rohstoffe, Recycling und Kreislaufwirtschaft.

Bezugnehmend auf das zuvor Ausgeführte ergibt sich somit der folgende **strategische Ansatz zur Sicherung der Rohstoffversorgung in NRW:**

- **Schaffung alternativer Bezugsquellen für risikobehaftete Importrohstoffe:** Bei vielen strategisch wichtigen metallischen Primärrohstoffen ist die Importabhängigkeit hoch, zudem wird die weltweite Nachfrage nach einigen dieser Rohstoffe künftig stark steigen. Insofern ist es sinnvoll, die Bezugsquellen der Rohstoffbeschaffung stärker zu diversifizieren. Dies umfasst die Unterstützung von Anstrengungen in anderen Ländern, die sich bisher weniger in Bezug auf die Förderung dieser Rohstoffe hervorgetan haben, vorhandene Vorkommen zu explorieren. Mit diesen Ländern sollten dann Rohstoffpartnerschaften eingegangen und frühzeitig Lieferverträge abgeschlossen werden, wobei hierbei auch den Unternehmen eine besondere Verantwortung zukommt. Dies gilt auch für Länder, die bereits entsprechende Rohstoffe fördern, mit denen aber noch keine Rohstoffpartnerschaften oder Lieferverträge abgeschlossen wurden. Risikobehaftete Rohstoffe könnten des Weiteren auch durch die Wiederaufnahme stillgelegter bzw. die Exploration neuer eigener Lagerstätten (in NRW, eher aber in anderen Bundes- bzw. EU-Ländern), durch *Urban Mining* (Rückgewinnung von Rohstoffen aus kartierten Deponien und Abraumhalden) und durch das Recycling (zurück-)gewonnen werden.
- **Sicherung heimisch geförderter Primärrohstoffe:** Es wird künftig schwieriger werden, die Versorgung mit heimisch geförderten Rohstoffen sicherzustellen, da sich die Aufsuchung von übertägigen Rohstoffvorkommen teilweise auf Flächen verlagern wird, die von weitergehenden Nutzungs- und Schutzanforderungen geprägt sind. Daher kommt es vermehrt zu Konflikten durch konkurrierende Flächennutzungsansprüche (Siedlungs- und Verkehrs- oder land- bzw. forstwirtschaftlich genutzte Flächen) sowie den Natur- und Wasserschutz. Hier könnte es künftig zu Engpässen bei Rohstoffen kommen, die transportkostensensibel sind und daher eine möglichst flächendeckende Bereitstellung erfordern, für die zudem mit einer steigenden Nachfrage zu rechnen ist, wie das beispielsweise für Kies und Sand sowie Natursteine der Fall sein dürfte. Dies sollte die künftige Landes- und Regionalplanung im Auge behalten. Zudem ist verstärkt darauf zu achten, dass die Akzeptanz für die heimische Rohstoffgewinnung durch Verbesserungen der Wissens- und Informationsbasis bestehen bleibt bzw. erhöht wird.
- **FuE-Förderung von Technologien:** Hierdurch soll zum einen die nachhaltige und effiziente Gewinnung von Primärrohstoffen durch die Entwicklung neuer Technologien sowie die langfristige Erschließung neuer Rohstoffpotentiale gefördert werden, zum anderen die technologische Einsetzbarkeit und Wirtschaftlichkeit des metallurgischen

Recyclings verbessert werden. Zur Finanzierung bietet sich die stärkere Nutzung von Horizont 2020, von EFRE und von Bundesprogrammen an. Diese Programme sollten durch NRW-Landesprogramme gezielt ergänzt werden. Hierzu wäre auch zu überlegen, die Mittel im Rahmen des Programms zur Soforthilfe für das Rheinische Revier und die künftige Verwendung der Mittel für die Strukturhilfen stärker in dem Sinne auszurichten (einige Aktivitäten in Hinsicht auf die Weiterentwicklung von Recyclingtechnologien wurden hier bereits entfaltet).

- **Sekundärrohstoffe und Kreislaufwirtschaft:** Besonderes Gewicht sollte beim Inverkehrbringen neuer Produkte auf deren Recyclingfähigkeit gerichtet werden (*zirkuläres Design*). Zudem müssen die Mengen der Sekundärmaterialien deutlich erhöht werden (Steigerung der Sammelquoten, Verringerung der Schrottexporte usw.), parallel dazu aber auch die Kapazitäten der Recyclingwirtschaft, da ansonsten lediglich Halden entstehen, die keinen Nutzen mit sich bringen, sondern nur eine Verlagerung des Entsorgungsproblems. Zwar ist die Umsetzung der Kreislaufwirtschaft in einigen Bereichen schon recht weit gediehen, in den meisten gibt es bezüglich der Schließung von Stoffkreisläufen aber noch Nachholbedarf.
- **Wiederherstellung und Ausbau der rohstofflichen Expertise:** Die entsprechende Expertise etwa in den Bereichen Rohstoffgewinnung und -aufbereitung sowie Mineralogie und Metallurgie wurde in den zurückliegenden zwei Jahrzehnten an den Hochschulen von NRW tendenziell eher zurückgefahren. Diesen Trend gilt es nicht nur zu stoppen, sondern umzukehren, um verlorenen gegangenes Know-how in den genannten sowie in weiteren Bereichen (z.B. in Bezug auf das Recycling und die Schließung von Stoffkreisläufen) wieder zurückzugewinnen bzw. neu aufzubauen. Dies schließt auch die Bergbauforschung im Energiebereich mit ein, die einerseits in die Forschung hinsichtlich der Gewinnung heimischer mineralischer Primärrohstoffe integriert, andererseits für den Technologietransfer genutzt werden sollte.
- **Abstimmung mit anderen Rohstoffpolitiken und -strategien sowie Unterstützung von Rohstoffallianzen:** Die Setzung rechtlicher Rahmenbedingungen, die Schaffung ökonomischer Anreize und weitere Maßnahmen im Rahmen der NRW-Rohstoffpolitik sollten möglichst gut mit der Rohstoffpolitik auf der Bundes-, EU-, OECD und WTO-Ebene abgestimmt werden und sich in die jeweiligen Rohstoffstrategien auf der nationalen und supranationalen Ebene einfügen. Insbesondere die Abstimmung mit der Rohstoffstrategie der Bundesregierung und den Leitlinien und Maßnahmen zur Förderung einer nachhaltigen Rohstoffpolitik des Forums für Bergbau, Minerale, Metalle und nachhaltige Entwicklung sollten dabei berücksichtigt werden. Sinnvoll wäre auch, die verschiedenen Rohstoffallianzen aktiv zu unterstützen, wie z.B. die Europäische Rohstoffallianz, die Europäische Batterieallianz oder die Allianzen für die Grundstoffindustrie (Europäischer Ausschuss der Regionen 2021: 5).

5.2 Rechtliche Rahmenbedingungen für den Rohstoffbereich

Es gibt eine Reihe von Gesetzen, die für den Rohstoffbereich mehr oder weniger relevant sind. Um dies zu dokumentieren, werden einige dieser Gesetze im Folgenden aufgeführt und deren Gegenstand in aller Kürze benannt, ohne diese Regelungen im Einzelnen oder auch insgesamt zu kommentieren. Die Aufzählung soll verdeutlichen, dass die Rohstoffpolitik von diversen rechtlichen Regelungen tangiert wird, was bei deren Konzipierung immer mit bedacht werden muss, da sich rohstoffpolitische Maßnahmen lückenlos in die bereits vorhandenen rechtlichen Regelungen einfügen lassen müssen.

Gleichwohl kann es sein, dass bestehende Regelungen die Umsetzung von sinnvollen rohstoffpolitischen Maßnahmen nicht in jedem Fall ermöglichen. Es wäre dann zu erwägen, auf gesetzliche Änderungen hinzuwirken. Der Großteil der Maßnahmen dürfte sich aber auf der Basis der bestehenden gesetzlichen Bestimmungen realisieren lassen.

Bundesraumordnungsgesetz

Das Bundesraumordnungsgesetz (ROG) hat die vorsorgende Rohstoffsicherung zum Gegenstand. Es soll dabei der langfristigen Sicherung der Rohstoffversorgung dienen, um sicherzustellen, dass auch künftigen Generationen eine hinreichende Rohstoffbasis zur Verfügung steht. Das ROG regelt, welche Planungszeiträume zugrunde zu legen sind, um eine langfristige Sicherung der Rohstoffe zu gewährleisten. Gemäß dem ROG sind unterschiedliche Anforderungen an den Raum aufeinander abzustimmen und die auf der Planungsebene auftretenden Konflikte auszugleichen (§ 1 ROG).

Innerhalb von Raumordnungsplänen müssen die räumlichen Voraussetzungen für die vorsorgende Sicherung sowie die geordnete Aufsuchung und Gewinnung von standortgebundenen Rohstoffen geschaffen werden (§ 2 ROG). Dies ist in eine nachhaltige Raumentwicklung einzubetten, welche die ökonomischen Ansprüche an den Raum mit seinen ökologischen Funktionen in Einklang bringt.

Bundesberggesetz

Das Bundesberggesetz (BBergG) umfasst neben die Förderung und Ordnung des heimischen Bergbaus. Hierbei kommt es mitunter auch zu Planfeststellungsverfahren und Umweltverträglichkeitsprüfungen mit Öffentlichkeitsbeteiligung (BKRI 2016). Das Bergrecht normiert somit Voraussetzungen, unter denen bergbauliche Vorhaben genehmigt werden können.

Die zuständige Bergbaubehörde wägt hierbei über § 48 Abs. 2 BBergG die Interessen der Bergbautreibenden mit denen der Öffentlichkeit ab. Ergänzend zu den Zulassungsvoraussetzungen prüft die Bergbehörde dabei auch, ob dem bergbaulichen Vorhaben überwiegende öffentliche Interessen entgegenstehen. Ist dies der Fall, hat die Bergbehörde das Vorhaben zu beschränken oder gar zu untersagen. Bei dieser Prüfung sind bei raumbedeutsamen Vorhaben die Ziele der Raumordnung zu beachten. Alle in § 3 BBergG genannten bergfreien und

grundeigenen sowie alle untertägig aufgesuchten oder gewonnenen Bodenschätze unterliegen dem Bergrecht (zu ihnen gehören in NRW insbesondere Quarz, Quarzit und – soweit sie sich zur Herstellung von feuerfesten, säurefesten oder nicht als Ziegeleierzeugnisse anzusehenden keramischen Erzeugnissen eignen – auch bestimmte Tone).

Im BBergG sind die wesentlichen rechtlichen Voraussetzungen für die Genehmigung bergbaulicher Betriebe festgelegt, die ihrerseits die Vorsorge vor Gefahren, die Rechte Dritter und Belange des Umweltschutzes aufnehmen. Neben der Gewinnung und Aufbereitung mineralischer Rohstoffe regelt das BBergG auch die Wiedernutzbarmachung der vom Bergbau in Anspruch genommenen Oberflächen sowie die Errichtung und den Betrieb von Untergrundspeichern (BMWi 2021b). Die EU-Kommission bewertete übrigens das BBergG im Jahr 2010 als *Best Practice* für das Genehmigungsrecht.

Abtragungsgesetze der Länder

Die im Tagebauverfahren abgebauten Rohstoffe, die nicht unter Bergrecht fallen – das betrifft insbesondere Kies und Sand, Ton und Schluff sowie Festgestein wie Karbonatgestein, Mergelkalkstein, Tonstein, Sandstein, Grauwacke und Vulkanit –, unterliegen den Regelungen der Abtragungsgesetze der Länder, welche die oberflächennahe Aufsuchung und Gewinnung von Rohstoffen in Tagebauen des jeweiligen Landes regeln.

Das Abtragungsgesetz NRW enthält insbesondere Regelungen zur Genehmigung von Abtragungen sowie der Oberflächengestaltung und Wiedernutzbarmachung des in Anspruch genommenen Geländes während und nach Abschluss der Abtragung. Für die Genehmigung dieser Abtragungen sind in der Regel die Kreisordnungsbehörden zuständig. Ein Antrag auf Genehmigung einer Abtragung ist zu erteilen, soweit insbesondere ein vollständiger Abtragungsplan vorliegt (§ 4 Abs. 2 AbtrG), die Ziele der Raumordnung und Landesplanung sowie die Belange der Bauleitplanung und des Natur-, Wasser- und Gewässerschutzes beachtet werden und auch andere öffentliche Belange nicht entgegenstehen.

Geologiedatengesetz

Das Geologiedatengesetz (GeolDG) dient der Sammlung und Sicherung geologischer Daten, regelt die Übermittlung von Daten geologischer Untersuchungen und sorgt dafür, dass bestimmte geologische Daten öffentlich bereitgestellt werden, sodass sie u.a. zur Aufsuchung und Gewinnung von Rohstoffen und für weitere Nutzungen des geologischen Untergrunds genutzt werden können. Es hat das zuvor geltende Lagerstättengesetz abgelöst und erstreckt sich daher sowohl auf die Altdatenbestände wie auch auf kommerziell erhobene geologische Daten. Das Gesetz enthält zudem eine Anzeigepflicht für die Lagerstättenerkundung, was auch die Anzeige von geplanten Bohrungen und deren Ergebnissen beinhaltet, soweit die Daten der geologischen Untersuchung nicht zur Durchführung der Produktion gewonnen werden.

Kreislaufwirtschaftsgesetz

Das Kreislaufwirtschaftsgesetz hat die Förderung der Kreislaufwirtschaft im Abfallbereich zum Gegenstand. Dabei geht es in erster Linie um die Art der Entsorgung der Abfälle. Oberstes Ziel ist dabei, Abfälle so weit wie möglich zu vermeiden, um dadurch die Rohstoffe zur Schonung von Ressourcen und Umwelt möglichst lange im Kreislauf zu halten.

Unvermeidliche Abfälle sind dann prioritär einer stofflichen Verwertung zuzuführen, sofern dies technisch möglich und wirtschaftlich vertretbar ist. Mögliche Instrumente, um dies zu gewährleisten, sind z.B. Ge- und Verbote, Abgaben oder Rücknahmeverpflichtungen. Neben dem Bundeskreislaufwirtschaftsgesetz gibt es in NRW – wie auch in den anderen Bundesländern – ein Landeskreislaufwirtschaftsgesetz.

Elektro- und Elektronikgerätegesetz (ElektroG)

Das ElektroG soll für eine getrennte Sammlung von Elektro- und Elektronikaltgeräten sorgen, damit diese einem Recycling zugeführt werden können, zudem soll der illegale Export von Elektroaltgeräten bekämpft werden. Die Richtlinie 2012/19/EU über Elektro- und Elektronik-Altgeräte von 2012 führte dazu, dass das ElektroG mehrfach novelliert wurde, um mehr Elektroaltgeräte dem Recycling zuzuführen.

Batteriegesez (BattG)

Durch das BattG sollen alte Batterien und Akkus getrennt gesammelt und zusätzliche Strukturen für die Rücknahme und Entsorgung geschaffen werden. Es beinhaltet Rücknahmeverpflichtungen für den Handel basierend auf einem Melderegister für Hersteller von Batterien und Akkus.

Altfahrzeug-Verordnung

Die auf dem Kreislaufwirtschaftsgesetz beruhende Verordnung legt fest, dass Fahrzeuge als Abfall einer anerkannten Annahmestelle überlassen werden müssen. Die Automobilindustrie muss das verpflichtend und weltweit umsetzen.

Verpackungsgesetz

Das VerpackG dient der Erhöhung der Recyclingquoten von Verpackungsabfällen (Belland 2020a und b). Allerdings sind Verpackungen vorrangig zu vermeiden, wobei die Produktverantwortung bei den Inverkehrbringern der Verpackungen liegt, die sich in dem öffentlich einsehbaren Verpackungsregister registrieren lassen müssen.

Die Sammlung, Sortierung und Verwertung der Verpackungen (u.a. Glas, Papier, Kunststoff, Aluminium und Weißblech) können die Inverkehrbringer durch die Zahlung einer Lizenzgebühr abtreten, deren Höhe von der Art und Menge des Verpackungsabfalls abhängt. Sammlung, Sortierung und Verwertung obliegen dann einem der hierfür eingerichteten dualen Systeme, zum Teil aber auch den Kommunen.

Lieferkettengesetz

Das ab 2023 geltende Lieferkettengesetz verpflichtet Unternehmen, nachzuweisen, dass importierte Güter in allen Phasen der Lieferkette nicht gegen die Einhaltung nachhaltiger Umwelt- und menschenwürdiger Arbeitsbedingungen verstoßen. Die Einführung dieser Nachweispflicht der Industrie betrifft somit auch importierte Rohstoffe. Wie genau der jeweilige Nachweis erfolgen soll, ist zurzeit noch unklar.

Ersatzbaustoffverordnung

Mit der im Juli 2021 verabschiedeten Ersatzbaustoffverordnung sollen die Anforderungen an die Herstellung von mineralischen Ersatzbaustoffen (Bodenmaterial, Bau- und Abbruchabfälle, Schlacken aus der Metallherzeugung usw.) und deren Einbau (Straßen, Schienenwege, befestigte Flächen usw.) geregelt werden.

Immissionsschutz-, Naturschutz- und Wasserhaushaltsgesetz

Das Immissionsschutzgesetz soll vor schädlichen Umwelteinwirkungen schützen und dem Entstehen schädlicher Umwelteinwirkungen vorbeugen, das Naturschutzgesetz adressiert die Schutzgüter Natur und Landschaft und stellt die rechtliche Grundlage für Maßnahmen zum Naturschutz und zur Landschaftspflege dar, das Wasserhaushaltsgesetz enthält Bestimmungen zum Schutz und zur Nutzung von Oberflächengewässern und des Grundwassers.

Es handelt sich hierbei zum einen um Bundesgesetze, es gibt zum anderen aber jeweils auch entsprechende NRW-Landsgesetze. Die genannten Gesetze sollen an dieser Stelle nicht weiter ausgeführt werden, da sie den Rohstoffbereich nicht unmittelbar betreffen, gleichwohl haben sie mittelbar große Bedeutung für die heimische Rohstoffgewinnung, da die damit einhergehenden Schutzanforderungen mit Einschränkungen der Flächennutzung für die Förderung von Rohstoffen verbunden sein können (siehe dazu auch den Abs. 5.4).

5.3 Sicherung der Versorgung mit importierten Rohstoffen

Den Abschnitten 3.3 und 3.4 ist die Bedeutung der risikobehafteten Importrohstoffe für NRW und dessen Schlüsselindustrien zu entnehmen. Aufgrund des künftig deutlich steigenden Bedarfs einiger dieser strategisch besonders bedeutsamen Rohstoffe für die NRW-Industrie stellt sich die Frage, mit Hilfe welcher Maßnahmen sich die Sicherung der Versorgung mit diesen Importrohstoffen, die von einem mittleren oder sogar hohen Versorgungs- und Preisrisiko gekennzeichnet sind, gewährleisten lässt. An dieser Stelle geht es zunächst einmal um die Sicherstellung der Versorgung mit importierten Primärrohstoffen. Maßnahmen, die zur Substitution durch Sekundärrohstoffe beitragen, was dann zu einem sinkenden Bedarf der hier zunächst im Fokus stehenden importierten Primärrohstoffe führen würde, sind Gegenstand von Abschnitt 5.5.

Im Folgenden werden ausgewählte Maßnahmen zur Sicherung der Versorgung mit importierten Primärrohstoffen aufgezeigt, durch die NRW mit Hilfe seiner Vernetzung mit nationalen und multinationalen Gremien oder Einrichtungen mittelbar, teilweise aber auch unmittelbar einwirken kann.

Offenhaltung der Rohstoffmärkte

Rohstoffe stehen am Beginn industrieller Wertschöpfungsketten. Da die Lieferketten der meisten metallischen Rohstoffe weltweit aufgestellt sind und NRW in Bezug auf die Primärrohstoffe eine annähernd vollständige Importabhängigkeit aufweist, kommt daher dem möglichst uneingeschränkten Zugang zu offenen, freien und funktionsfähigen Rohstoffmärkten eine große Bedeutung zu.

Dazu tragen neben multinationalen Handelsabkommen auf der Ebene der WTO auch zwischenstaatliche Handelsverträge oder strategische Rohstoffpartnerschaften mit rohstofffördernden Ländern bei. Im Falle von Deutschland wird, wenn es um die Einflussnahme auf WTO-Entscheidungen geht oder um den Abschluss bilateraler Verträge mit einzelnen Ländern, meist die EU-Ebene gewählt. Auf den Rohstoffmärkten erlaubt die WTO bis zu einem gewissen Grad Exportbeschränkungen, etwa zur Reduzierung von Umweltbelastungen. Ziel war die Schaffung eines *Level Playing Fields* (gleiche Wettbewerbsbedingungen) unter Nachhaltigkeitsaspekten. Das nahm China allerdings zum Anlass, für einige seiner Rohstoffe Exportzölle, Exportquoten oder Mindestexportpreise zu erlassen (Bardt et al. 2013: 51). Diese Maßnahmen konnten aber von Japan, den USA und der EU über den Klageweg ausgesetzt werden. Es ist aber nicht auszuschließen, dass China oder andere Länder künftig erneut Exportrestriktionen vornehmen.

Das Eingehen weiterer Rohstoffpartnerschaften sollte NRW dann unterstützen, wenn es sich um Länder handelt, die Rohstoffe fördern, die für das Land bzw. seine Industrie von besonderer strategischer Bedeutung sind. Dabei handelt es sich um bilaterale Verträge mit Rohstoffförderländern, die einen Rahmen für Vertragsabschlüsse der Unternehmen bilden. Der Abschluss von Lieferverträgen ist dann aber meist alleinige Aufgabe der rohstoffverbrauchenden Unternehmen oder, was

im Rohstoffbereich häufig der Fall ist, dazwischengeschalteter Rohstoffhandelsunternehmen. Bei diesen Lieferverträgen geht es dann nicht nur um die physische Lieferung der Rohstoffe an sich, sondern auch um die Vereinbarung der Lieferkonditionen in Bezug auf Menge, Preis, Qualität und den Zeitpunkt der Lieferung.

In der Regel ist das Problem auf den Rohstoffmärkten weniger die Verfügbarkeit der Rohstoffe, sondern eher die Schwankung der Preise. Diese ergeben sich aus den Angebots- und Nachfrageveränderungen, sie werden auch durch Marktinterventionen in die eine oder andere Richtung beeinflusst, was die Preisschwankungen erhöhen kann. Dies können tarifäre Handelshemmnisse in Form von Zöllen sein, aber auch nichttarifäre Handelshemmnisse, wie z.B. Ausfuhrbeschränkungen der rohstoffliefernden Länder.

Auch die Strategien großer Rohstoffhandelsunternehmen, wie z.B. Glencore oder Rio Tinto, können sich auf die Höhe der Weltmarktpreise von Rohstoffen auswirken. Das gilt zudem für den Rohstoffhandel der großen Warenterminbörsen wie der *New York Commodities Exchange* (COMEX) oder der *London Metal Exchange*, da hier auch spekulative Faktoren hinzukommen. Letztendlich haben die Börsen aber die Funktion, die für Rohstoffe typischen zeitlichen und regionalen Disparitäten von Angebot und Nachfrage auszugleichen und auf dieser Basis die Preise zu stellen (siehe dazu auch den Abs. 3.1).

Handelsbarrieren seitens der Rohstoffländer sind jedenfalls so weit wie möglich auf dem Verhandlungsweg abzubauen, da sich diese meist schon auf die Weltmarktpreise auswirken, sobald sie angekündigt werden oder auch nur darüber spekuliert wird. Preiswirkungen können davon selbst dann ausgehen, wenn sich an den Angebots- und Nachfrageverhältnissen ansonsten (noch) gar nichts verändert hat.

Ein besonderes Problem können die Rohstoffe darstellen, die nur als Nebenprodukt des Abbaus anderer Rohstoffe anfallen, wie z.B. des Kupfer- oder Zinkabbaus. Bei diesen Kuppelprodukten funktioniert der Marktmechanismus nämlich nicht in gleicher Weise wie bei den Massenrohstoffen. Sollten gerade bei diesen als Nebenprodukt anfallenden Rohstoffen besonders hohe Nachfragessteigerungen auftreten, können Preisausschläge besonders hoch ausfallen. Diesen Aspekt gilt es daher im Blick zu behalten.

Neben den zu erwartenden Nachfragessteigerungen und den sich daraus ergebenden Auswirkungen auf die Rohstoffpreise und deren Angebot wird künftig aber auch noch ein anderer Aspekt eine Rolle spielen, der bislang so noch nicht zum Tragen gekommen ist: Künftig soll nach dem Willen der EU auch beim Rohstoffhandel stärker auf Nachhaltigkeit geachtet werden. Das bedeutet, dass die rohstoffnachfragenden Unternehmen nachweisen müssen, dass die Rohstoffe unter Umweltsichtspunkten und unter Wahrung menschenwürdiger Produktionsbedingungen nachhaltig gefördert wurden. Das angesprochene Lieferkettengesetz, das bereits beschlossen ist und

ab dem Jahr 2023 gelten wird, wirft da seine Schatten bereits voraus. Auch wenn derzeit noch weitgehend unklar ist, wie dieses vom Grundsatz her begrüßenswerte Gesetz umgesetzt werden soll, wird es die zum Teil ohnehin schon recht schwierige Lage auf den internationalen Rohstoffmärkten und auch die Situation für die rohstoffnachfragenden Industrieunternehmen nicht gerade erleichtern.

Ausweitung der Primärrohstoffgewinnung

Eine Möglichkeit, die Situation auf den Rohstoffmärkten angebotsseitig zu entspannen, stellen Maßnahmen dar, die darauf abzielen, die Primärrohstoffgewinnung auszuweiten. Zwar ist es gerade in Bezug auf die metallischen Rohstoffe in Deutschland – und aufgrund geringer Erzvorkommen besonders in NRW – schwierig, die Primärproduktion auszuweiten bzw. überhaupt erst einmal anzustoßen, dennoch gibt es dazu einige Initiativen. So wird etwa im Erzgebirge die Förderwürdigkeit von Vorkommen der Seltenerdenmetalle oder in der Lausitz von Kupfer untersucht (Bardt et al. 2013: 52). Dies schließt auch innovative Projekte einer möglichen Förderung von Bodenschätzen in der Tiefsee ein (BDI 2017: 6). Hieran ist auch die Bundesregierung beteiligt, in deren Auftrag die BGR ein Lizenzgebiet für Manganknollen im Nordostpazifik erkundet (Die Bundesregierung 2019: 36).

Vor allem beziehen sich solche Initiativen, durch die eine Wiederbelebung oder Neuexploration der primären Gewinnung von Rohstoffen geprüft werden soll, um auf diesem Wege die Abhängigkeit von Rohstoffimporten aus Nicht-EU-Ländern zu verringern, aber in erster Linie auf andere EU-Länder und weniger auf Deutschland. Darunter befinden sich auch Rohstofflagerstätten wirtschaftsstrategisch risikobehafteter Rohstoffe, deren Explorationsmöglichkeiten geprüft werden.

Dies betrifft z.B. Vorkommen von Seltenerdenmetallen in Skandinavien oder von Lithium in Portugal und – als zumindest ehemaliges EU-Mitglied – auch in Großbritannien. Deren Förderung wäre vermutlich auch nachhaltiger als in einigen der Förderländer außerhalb der EU. Allerdings ist aufgrund der fraglichen Wirtschaftlichkeit und der langwierigen Genehmigungsverfahren unklar, ob und inwieweit es tatsächlich ohne das Erfordernis einer dauerhaften Subventionierung zu einem Rohstoffabbau kommen wird. Lithium ist bekanntlich im Zusammenhang mit Lithium-Ionen-Batterien für die Elektromobilität relevant. Die Nachfrage wird demnach stark steigen und damit vermutlich auch der Preis für Lithium, sodass eine wirtschaftliche Lithiumgewinnung in Europa auf Dauer doch möglich sein könnte. Das betrifft beispielsweise auch die Geothermie-Werke am Oberrhein, für die sich unter geänderten ökonomischen Vorzeichen große Potentiale für die Extraktion von Lithium aus geothermalen Wässern bieten. Das Beispiel zeigt, dass es unter Umständen auch in Deutschland eine Primärproduktion von risikobehafteten Rohstoffen geben kann.

NRW sollte diese Entwicklungen auf jeden Fall sehr genau verfolgen und über sein Netzwerk in der EU auch kritisch begleiten. Aufgrund der ausgewiesenen Bergbaukompetenzen

in NRW käme eventuell ein Technologie- oder auch Personaltransfer in Betracht, um diese Initiativen aktiv zu unterstützen. Die Neuexploration in NRW bezieht sich dagegen eher auf Industriemineralien (siehe dazu auch Abs. 5.4) und die Gewinnung von metallischen Rohstoffen ausschließlich auf Sekundärrohstoffe (siehe dazu auch Abs. 5.5).

Darüber hinaus kann der Versuch unternommen werden, auf die Primärrohstoffgewinnung außerhalb der EU einzuwirken, indem z.B. Unterstützung bei der Identifizierung von Rohstoffquellen und bei deren Erschließung geleistet wird. Dies kommt insbesondere dann in Betracht, wenn zu den Förderländern gute Beziehungen gepflegt werden, etwa durch Rohstoffpartnerschaften, sodass dann auch mit einer verlässlichen Rohstofflieferung zu rechnen wäre. Die Hilfen können zudem dazu beitragen, dass rohstoffliefernde Länder politisch und wirtschaftlich stabilisiert werden, insbesondere dann, wenn die Rohstoffpolitik mit der Entwicklungspolitik verknüpft wird.

Dadurch kommt es zu einer Diversifizierung der Bezugsquellen von Rohstoffen, was für die Industrie mehr Versorgungssicherheit beim Rohstoffbezug und eine Stabilisierung der Lieferketten zur Folge hat. Das Land NRW muss dafür nicht unbedingt selber eintreten, es kann aber bei der entsprechenden Anbahnung derartiger Kooperationsprojekte durch Information, Beratung und ggf. auch die Zahlung von Beihilfen Unterstützung leisten.

Staatliche Investitionen in den Bergbau

Geopolitische Rohstoffstrategien hat z.B. China sehr intensiv verfolgt, indem es im Ausland strategische Beteiligungen an Rohstoffunternehmen eingegangen ist, um sich faktisch die Kontrolle über die Rohstoffvorkommen zu sichern. Diese Strategie war vor allem in rohstoffreichen afrikanischen Ländern erfolgreich (weniger z.B. in den USA, Kanada oder Australien). Dadurch konnte China seine Rohstoffbasis, die als bedeutendstes Rohstoffförderland der Welt ohnehin schon enorm ist, noch deutlich ausbauen.

Die Spielräume, um solche strategische Beteiligungen einzugehen, sind inzwischen allerdings geringer geworden. Es stellt sich die Frage, warum staatliche Investitionen in den Rohstoffsektor z.B. seitens der EU oder gar durch einzelne Bundesländer wie NRW nicht schon erfolgt sind. Dies hat in erster Linie systemimmanente Gründe, da ein solches Vorgehen in westlichen Industrieländern keine staatliche Aufgabe ist. Das hängt damit zusammen, dass Direktinvestitionen in Form einer strategischen Beteiligung an ausländischen Unternehmen nur für inländische Unternehmen vorgesehen ist. Würden Direktinvestitionen also durch den Staat erfolgen, setzt dies das Vorhandensein staatlicher Rohstoffunternehmen voraus, die es aber zumindest in Deutschland bislang nicht gibt.

Schmieden von Rohstoffallianzen

Rohstoffnachfragende Unternehmen könnten sich an ausländischen Rohstoffunternehmen beteiligen oder eigene Bergwerke betreiben. Eine solche vertikale Integration wäre aber

mit sehr hohen Investitionen verbunden, die in mitunter politisch eher instabilen Ländern getätigt werden müssten. Die damit einhergehenden Risiken wären vermutlich höher als es die mit den Importrohstoffen verbundenen Versorgungs- und Preisrisiken wären.

Derartige Bergbauprojekte lassen sich von einzelnen Unternehmen kaum bewerkstelligen, möglicherweise aber durch eine Kooperation mehrerer Unternehmen, wie bei der 2012 gegründeten, letztendlich aber gescheiterten „Allianz zur Rohstoffsicherung“, einem Zusammenschluss von zwölf Unternehmen, darunter aus NRW Aurubis, Bayer, Evonik und ThyssenKrupp, die es sich zur Aufgabe machten, Rohstoffvorkommen zu erkunden, zu bewerten und dadurch Beteiligungsoptionen für deutsche Unternehmen zu schaffen (Bardt et al. 2013: 50). NRW könnte anregen, einen erneuten Versuch zu unternehmen, eine solche Allianz zu schmieden.

Vorratshaltung zur Absicherung von Lieferketten

Eine Absicherung gegen Versorgungs- und Preisrisiken kann auch eine Lagerhaltung von Rohstoffen sein, sofern diese tatsächlich strategisch wichtig, aber nur schwer oder gar nicht zu substituieren sind. Hierdurch könnten dann eventuelle Produktionsausfälle aufgrund ausbleibender Rohstofflieferungen zumindest vorübergehend vermieden werden. Zu bedenken ist aber, dass eine Lagerhaltung immer auch mit nicht unerheblichen Kosten und einer Kapitalbindung verbunden ist.

Alles in allem ist zumindest von einer staatlich alimentierten Lagerhaltung von Rohstoffen sowohl aus ökonomischer als auch aus ordnungspolitischer Sicht eher abzuraten. Es handelt sich hierbei letztendlich um eine Subventionierung von Unternehmen, die diese Rohstoffe einsetzen, da die Kosten für die Sicherung der Rohstoffversorgung sozialisiert werden. Sicherlich wäre eine Möglichkeit, den Unternehmen eine Art Versicherungsprämie abzuverlangen, die zumindest die Kosten der Lagerhaltung abdeckt.

Die Frage stellt sich aber, wie zu verfahren ist, wenn die Lager zu höheren Rohstoffpreisen wieder aufgefüllt werden müssen, zumal die Preise anschließend auch wieder sinken könnten. Die Unternehmen müssten dann auch die höheren Preise plus der Prämie zahlen. Der ökonomische Nutzen wäre zumindest zweifelhaft, da die Kurve der Preisentwicklung letztendlich lediglich geglättet und nach oben verschoben wird. Der Aufbau von Lagerbeständen durch staatlich finanzierte Rohstoffgesellschaften sollte daher, wenn überhaupt, auf ganz wenige, strategisch besonders wichtige und zugleich mit zum Teil hohen Risiken verbundenen Rohstoffe beschränkt bleiben.

Stattdessen haben Unternehmen die Möglichkeit, eine eigene Lagerhaltung zu betreiben. Dagegen könnten dann zumindest keine ordnungspolitischen Vorbehalte vorgebracht werden, gleichwohl wäre die ökonomische Sinnhaftigkeit ebenfalls fraglich. Immerhin hätten die Unternehmen dann aber die Möglichkeit, relativ flexibel auf die jeweilige Marktentwicklung zu reagieren. Laut einer Unternehmensbefragung des Bundesverbandes der Deutschen Industrie wünschen sich knapp

die Hälfte der befragten Unternehmen eine politische Unterstützung bei der privaten Lagerhaltung etwa in Form von Steuererleichterungen (BDI 2020: 3).

Fraglich ist aber, inwieweit die Förderung einer privaten Lagerhaltung eine öffentliche Aufgabe ist. Nur unter der Voraussetzung, dass dies aus gesamtwirtschaftlicher Warte betrachtet aufgrund der besonderen Relevanz der Versorgung mit bestimmten strategisch bedeutsamen Rohstoffen zu bejahen wäre, könnte hierfür das Steuerrecht angepasst werden.

Dadurch ließe sich vermeiden, dass die von Unternehmen beschafften Rohstoffvorräte zum Aufbau von Umlaufvermögen führen, das sich erst bei der Nutzung der Rohstoffe ertragswirksam auswirken würde, stattdessen könnte die Bildung einer Rücklage für bestimmte staatlicherseits festgelegte Rohstoffe zu einem sofortigen Betriebsausgabenabzug berechtigen (Vetter 2020).

Absicherung gegen Preisrisiken durch Hedging

Beim Hedging handelt es um ein Warentermingeschäft, das die Lieferung eines Rohstoffs zu einem künftigen Zeitpunkt zu einem bestimmten Preis festlegt. Durch dieses Preissicherungsgeschäft, das z.B. über die *London Metal Exchange* abgewickelt werden kann, sinkt somit das Preisrisiko. Ein strategisches Hedging nutzen daher viele Unternehmen zur Absicherung gegen Preisschwankungen bei Rohstoffen. Setzt ein Rohstoffhandelsunternehmen strategisches Hedging ein, muss das Unternehmen, das von dem Händler beliefert wird, seinerseits keine Absicherung mehr vornehmen. Zwar ist die Kapitalbindung für ein strategisches Hedging gering, gleichwohl sind hiermit auch einige Nachteile verbunden.

Zunächst einmal bedarf es eines gewissen Know-hows und eines entsprechenden Zugangs zum Finanzmarkt, um eine effektive Hedging-Strategie überhaupt realisieren zu können. Weiterhin ist jede Form des Hedgings zwangsläufig auch mit Kosten verbunden, da es sich um eine Art Versicherung gegen Preisschwankungen handelt, insbesondere Informations- und Transaktionskosten, sodass der Preis dafür, dass die Unsicherheit über die Rohstoffpreise sinkt, in einem gewissen Anstieg der Durchschnittspreise zum Ausdruck kommt (Bardt et al. 2013: 48f.) Eine noch so ausgeklügelte Hedging-Strategie kann im Übrigen nicht vor langfristig eintretenden Preisanstiegen und auch nicht vor Lieferausfällen schützen, zudem gibt es nicht für alle Rohstoffe die Möglichkeit eines Hedgings.

Hedging ist somit keineswegs für alle Unternehmen geeignet bzw. erforderlich und auch nicht generell empfehlenswert, insbesondere nicht bei den Rohstoffen, die meist von eher geringen Preisschwankungen gekennzeichnet sind. Für die rohstoffnachfragenden NRW-Industrieunternehmen, die trotz der genannten Einschränkungen dennoch an einem Hedging Interesse haben, aber unsicher sind, wie sie das bewerkstelligen könnten, wäre ein Beratungsangebot seitens der Landesregierung bzw. die Vermittlung von entsprechenden Beratungsleistungen hilfreich.

Diversifizierung von Bezugsquellen und Abschluss langfristiger Lieferverträge

Unternehmen, die sich eigenständig um die Rohstoffsicherung kümmern, haben wesentlich geringere Probleme beim Rohstoffbezug und weisen geringere Wettbewerbsnachteile gegenüber Konkurrenten aus rohstoffreichen Förderländern auf, als Unternehmen, die das nicht tun. Das liegt daran, dass letztere den teilweise anzutreffenden Marktverzerrungen auf den Rohstoffmärkten vollständig ausgesetzt sind. Diese Verzerrungen kommen dadurch zustande, dass Unternehmen in den Förderländern diverse Vergünstigungen zukommen, etwa eine Rohstoffversorgung zu günstigeren Konditionen, Subventionen und dergleichen. Soweit diese Unternehmen mit denen in Deutschland konkurrieren, resultieren daraus Wettbewerbsnachteile. Wenn es sich bei dem Förderland um einen Staat mit einem geringen Anteil am weltweiten Bruttoinlandsprodukt handelt, spielt das möglicherweise keine so entscheidende Rolle, wenn es aber um große Förderländer mit einem vergleichsweise hohen Anteil am BIP wie z.B. China geht, ist das ein durchaus wesentlicher Wettbewerbsfaktor.

Darauf zu warten, dass diese Wettbewerbsnachteile durch Maßnahmen auf der Ebene der WTO oder durch die EU-Handelspolitik ausgeglichen werden, ist meist wenig zielführend, da auf diese Weise einige Wettbewerbsverzerrungen entweder gar nicht beseitigt werden können oder es relativ lange dauert, bis dies erfolgt ist. Umso wichtiger sind dann betriebliche Maßnahmen der Unternehmen, um zumindest einen Teil der Wettbewerbsnachteile aufzufangen. Im Wesentlichen sind es zwei Dinge, die Unternehmen tun können: eine Diversifizierung der Bezugsquellen zur Deckung ihres Rohstoffbedarfs und der Abschluss von Lieferverträgen mit ihren Rohstofflieferanten. Unternehmen mit einer diversifizierteren Lieferantenstruktur und guten Beziehungen zu ihren Lieferanten sind somit von den Rohstoffrisiken weniger betroffen.

Auf den ersten Blick mag es als Widerspruch erscheinen, durch die Diversifizierung von Rohstofflieferanten Wettbewerbsvorteile zu erzielen. In der Regel ist es so, dass umso günstigere Konditionen ausgehandelt werden können, je höher die Abnahmemengen sind. Das spricht grundsätzlich eher dafür, sich auf einen oder wenige Lieferanten zu konzentrieren. Dem steht aber entgegen, dass die Vereinbarungen mit einem Lieferanten schon alleine dadurch für das rohstoffnachfragende Unternehmen positiver gestaltet werden können, wenn der Rohstofflieferant weiß, dass er sich gegen Konkurrenten durchsetzen muss. Zudem ist es wichtig, sich nicht zu von nur einen einzigen Lieferanten abhängig zu machen, da dann für den Fall, dass dieser seinen Lieferverpflichtungen nicht mehr nachkommen kann, möglicherweise kurzfristige Produktionsausfälle drohen, wenn kein anderer Lieferant einspringen in der Lage ist. Aus Sicht der Versorgungssicherheit ist es daher ratsam, gerade bei besonders risikobehafteten Importrohstoffen über mehrere Lieferquellen zu verfügen.

Der Abschluss von Lieferverträgen hat den Vorteil, dass sowohl die Liefermengen als auch die Preiskonditionen bis zu einem gewissen Grad fixiert werden oder zumindest Preisleitklauseln bzw. Preiskorridore vereinbart werden können. Vertragliche Vereinbarungen ermöglichen es zudem, im Falle einer Zuwiderhandlung von einem der Vertragsparteien rechtliche Schritte einleiten zu können, was ebenfalls der Erhöhung der Versorgungssicherheit dient. An der Stelle greifen dann ggf. auch die Maßnahmen zur Rohstoffsicherung der Bundesregierung, wie z.B. die Garantien für ungebundene Finanzkredite, die langfristige Lieferverträge von deutschen Unternehmen gegen Kredit- und Lieferausfallrisiken absichern, von denen bisher schon rund 4,4 Mrd. € übernommen wurden (Die Bundesregierung 2019: 20).

Sollte sich herausstellen, dass mehr Rohstoffe benötigt werden als ursprünglich vereinbart, weil z.B. der Absatz des nachfragenden Unternehmens höher ausfällt als erwartet oder neue Technologien etabliert werden, die mehr Rohstoffe erfordern, ist das ein weiterer Grund, die Lieferantenstruktur von vorneherein zu diversifizieren, denn es kann dann sein, dass einer der Lieferanten nicht in der Lage ist, die Rohstofflieferungen auszuweiten oder dafür nicht akzeptable Konditionen einfordert. Um mehr Marktmacht auf der Seite der rohstoffnachfragenden Unternehmen zu erzeugen, kann es im Übrigen sinnvoll sein, dass sich Unternehmen beim Abschluss von Lieferverträgen zusammenschließen. Dies wäre auch ein Ansatzpunkt für den Abschluss von Rohstoffpartnerschaften und einen Informationsaustausch mit ausgewählten Förderländern.

Bei der Suche nach alternativen Beschaffungswegen könnte das Land NRW seinen Unternehmen, die das betreffend noch nicht so breit und diversifiziert aufgestellt sind, unterstützen. Dies kann beispielsweise durch die Vermittlung von Kontakten zu Unternehmen erfolgen, die hier bereits erfolgreich waren. Zudem könnte auf die entsprechenden Angebote bei der Deutschen Rohstoffagentur (DERA) verwiesen werden, die u.a. zur Information und Beratung von Unternehmen in Rohstofffragen gegründet wurde. Die DERA könnte auch Kontakte zu den Kompetenzzentren für Bergbau und Rohstoffe herstellen, die an den Außenhandelskammern einiger ausgewählter Länder eingerichtet wurden, um deren Hilfestellung zu erbitten. Hilfreich sein könnte in dem Zusammenhang auch das *German Mining Network* – Internationale Bergbau- und Rohstoffkompetenz für deutsche Unternehmen.

Zur Identifizierung neuer Lieferquellen sollten Unternehmen Unterstützung durch die Politik, aber auch die Wissenschaft erhalten, etwa durch die Universitäten Aachen, Bochum und Dortmund sowie Fachhochschulen und außeruniversitäre Forschungseinrichtungen. Zudem könnte hier die Energieagentur NRW eingebunden werden, etwa in Bezug auf die Kooperationsanbahnung zum nachhaltigeren Bergbau in ausgewählten Förderländern, z.B. durch einen Transfer von Wissen und Bergbaumaschinen, verbunden mit dem Eingehen von weiteren Rohstoffpartnerschaften.

5.4 Sicherung einer nachhaltigen Förderung heimischer Rohstoffe

NRW verfügt zwar in Bezug auf metallische Rohstoffe über keine bedeutenden Lagerstätten, sodass diese weitgehend importiert werden müssen, dafür werden aber aus Locker- und Festgesteinen verschiedene mineralische Rohstoffe gewonnen, die für die Versorgung der Industrie zum Teil von zentraler Bedeutung sind. Das hängt auch damit zusammen, dass es sich dabei mitunter um transportkostensensible Rohstoffe handelt, wie z.B. Kies und Sand, die zu den maßgeblichen Baurohstoffen für den Aufbau der Infrastruktur sowie den Wohnungs- und Gewerbebau zählen, darüber hinaus gibt es aber auch eine Vielzahl weiterer wichtiger Rohstoffe (siehe dazu auch den Abs. 3.5). Im Folgenden werden ausgewählte Maßnahmen aufgezeigt, mit deren Hilfe die künftige Versorgung der Industrie mit heimisch geförderten Rohstoffen nachhaltig gesichert werden kann.

Erschließung neuer Lagerstätten in NRW

In NRW erfolgt die Festlegung eines landesweit einheitlichen Rahmens für die raumverträgliche Steuerung der Rohstoffsicherung durch den Landesentwicklungsplan NRW (LEP NRW). Dabei soll bei räumlichen Planungen die Standortgebundenheit und Begrenztheit der Rohstoffvorkommen, die Substitution primärer Rohstoffe durch Recyclingrohstoffe und ein möglichst natur- und umweltschonender Rohstoffabbau Berücksichtigung finden. Den Trägern der Regionalplanung wird verbindlich vorgegeben, in ihren Regionalplänen „Bereiche für die Sicherung und den Abbau oberflächennaher Bodenschätze“ (BSAB) als Vorranggebiete zur Gewinnung nicht-energetischer mineralischer Rohstoffe festzulegen (Raumordnungsziel 9.2-1 des LEP NRW). Mit dieser Festlegung werden andere raumbedeutsame Funktionen oder Nutzungen ausgeschlossen, soweit diese mit den vorrangigen Funktionen der Rohstoffsicherung und -gewinnung nicht vereinbar sind.

Dabei werden die Regionalplanungsbehörden dazu verpflichtet, in ihren Regionalplänen bestimmte Versorgungszeiträume über die flächenmäßige Festlegung von Vorranggebieten zu gewährleisten und sie bei Unterschreitung einer Schwelle wieder aufzufüllen (Raumordnungsziele 9.2-2 und 9.2-3 des LEP NRW). Das bedeutet, dass sukzessive neue Lagerstätten aufgesucht und erschlossen werden müssen, um die Rohstoffbasis zu erweitern. Für Lockergesteine wie Kies und Sand ist ein Versorgungszeitraum von mindestens 25 und für Festgesteine einer von 35 Jahren festzulegen. Mit der Fortschreibung der regionalplanerischen Festlegungen, die sich auf oberflächennahe Rohstoffe beziehen und im Tagebauverfahren abgebaut werden, muss daher rechtzeitig begonnen werden, sodass ein Versorgungszeitraum von 15 Jahren für Lockergesteine und von 25 Jahren für Festgesteine nicht unterschritten wird.

Zur langfristigen Rohstoffversorgung sollen zudem Reservegebiete in die Regionalpläne aufgenommen werden (Raumordnungsgrundsatz 9.2-4 des LEP NRW). Diese Reservegebiete dienen der langfristigen Sicherung bedeutender Lagerstätten. Trotz der Festlegung von BSAB in den Regionalplänen können in den nachfolgenden Genehmigungsverfahren

vereinzelt örtliche Konflikte erkennbar werden, die eine Nutzung der BSAB nicht in vollem Umfang zulassen. In der Rohstoffstrategie der Bundesregierung werden die Bundesländer zudem dazu angehalten, dass bei der Verankerung von Rohstoffvorkommen in ihren Regional- und Landesplänen auch „länderübergreifende rohstoffspezifische Bedarfe berücksichtigt werden“ (Die Bundesregierung 2019: 17).

Im August 2019 wurde der LEP NRW dahingehend geändert, dass den Trägern der Regionalplanung nunmehr alternativ die Möglichkeit eingeräumt wird, in den Regionalplänen nicht mehr durchgängig Vorranggebiete mit der Wirkung von Einzugsgebieten (Konzentrationswirkung) festzulegen. Die Sicherung von Vorranggebieten verbunden mit einer Konzentrationswirkung bedeutet, dass außerhalb dieser Vorranggebiete in der Regel keine Rohstoffgewinnung zugelassen wird. Einige Regionalplanungsbehörden (z.B. die von Detmold) streben bei der Fortschreibung ihrer Regionalpläne an, Vorranggebiete ohne eine entsprechende Konzentrationswirkung festzulegen. Dies wird voraussichtlich dazu führen, dass über die Beantragung von Rohstoffgewinnungsflächen künftig flexibler und zügiger entschieden werden kann.

Im Rahmen der Landes- und Regionalplanung wird angestrebt, möglichst konfliktfreie Standorte für die Rohstoffgewinnung auszuwählen und diese in Abwägung mit anderen räumlichen Nutzungs- und Schutzanforderungen für die Rohstoffsicherung und -gewinnung zu nutzen. Dies erfolgt unter Berücksichtigung der Rohstoffpotenziale, die sich insbesondere aus der Landesrohstoffkarte des Geologischen Dienstes NRW ablesen lassen. Unter Gesichtspunkten einer flächensparenden Rohstoffsicherung soll die Festlegung von Vorranggebieten mit einer vergleichsweise größeren Rohstoffmächtigkeit erfolgen. Dabei wird aus ökonomischen wie ökologischen Gründen häufig der Erweiterung bestehender Abgrabungsbereiche ein Vorzug gegenüber einem Neuaufschluss gegeben.

Soweit mit Abgrabungen ein Aufschluss des Grundwassers verbunden ist (sogenannte Nassabgrabungen, die besonders bei Kies- und Sandabgrabungen in Flussniederungen üblich sind), bedürfen sie einer wasserrechtlichen Planfeststellung, für die Kreise und kreisfreie Städte als untere Wasserbehörden zuständig sind. Die Genehmigung von Steinbrüchen, bei denen zum Abbau Sprengstoff eingesetzt und bei denen das Grundwasser nicht freigelegt wird, werden wiederum nach dem Bundesimmissionsschutzgesetz genehmigt. Ungeachtet einer Vorauswahl möglichst konfliktfreier Standorte in den Regionalplänen kann es auf der fachrechtlichen Zulassungsebene zu einer notwendigen Klärung von fachlichen Detailfragen kommen (insbesondere in Bezug auf den Natur- und Artenschutz, den Grundwasser- und Gewässerschutz sowie immissionsschutzrechtliche Schutzansprüche von Nachbarn), die zu Verzögerungen und in Einzelfällen auch zu einer Versagung von Abgrabungsanträgen führen können.

Im Jahr 2019 waren 17% der Gesamtfläche von NRW Siedlungsflächen und 7% Verkehrsflächen – knapp ein Viertel der

Gesamtfläche scheidet daher von vornherein für die Förderung heimischer Rohstoffe aus –, 72% waren land- und forstwirtschaftlich genutzte Flächen und je 2% sonstige Vegetationsflächen und Gewässerflächen (LANUV NRW 2020: 3). Auf den drei Vierteln der Gesamtfläche, die potenziell für eine Rohstoffförderung infrage kämen, waren – sich teilweise überschneidend – 8% der Gesamtfläche als Naturschutzgebiete ausgewiesen (11% der Gesamtfläche ohne Siedlungs- und Verkehrsflächen), 16% (einschließlich geplanter Gebiete) als Wasserschutzgebiete (21%) und 42% als Landschaftsschutzgebiete (55%). Auch wenn hohe Flächenanteile als Landschaftsschutzgebiete ausgewiesen sind, lassen sich daraus resultierende Hürden im Rahmen von Zulassungsverfahren planerisch leichter überwinden, als dies bei Wasserschutz- und vor allem Naturschutzgebieten in der Regel der Fall ist.

Die Auswahl möglichst konfliktfreier Standorte und die weitgehende Ausschöpfung der bereits erschlossenen Vorkommen ist nachvollziehbar und sinnvoll. Berechtigterweise wird daher auch gefordert, zu prüfen, ob in älteren Kiesgruben, bei denen die Kiesförderung an sich bereits abgeschlossen wurde, im Rahmen einer sogenannten Nachauskiesung Rohstoffe noch wirtschaftlich gewonnen werden können. Perspektivisch wird es aber erforderlich werden, die Nutzung von Rohstoffvorkommen auch auf Standorte auszuweiten, die weniger konfliktfrei als die derzeit in Produktion befindlichen Standorte sind, was die Landes- und Regionalplanung hinsichtlich der langfristigen Sicherung einer nachhaltigen Rohstoffversorgung insbesondere in Bezug auf die strategisch bedeutsamen Baustrohstoffe im Blick behalten sollte, die transportkostensensibel sind und künftig voraussichtlich noch stärker nachgefragt werden.

Aus Versorgungs- und Wirtschaftlichkeitsgründen sollte bei der Ausweisung von Vorrangflächen für die Rohstoffsicherung weiterhin ein Fokus auf eine hinreichende Rohstoffmächtigkeit gerichtet werden. Letztendlich sind nur Abgrabungen sinnvoll und umsetzbar, die sich auch aus wirtschaftlicher Sicht lohnen, was eine ausreichend hohe Rohstoffanreicherung erfordert. In Hinblick auf deren Aufsuchung könnte hilfreich sein, dass die BGR ein Programm entwickelt, das die Geologischen Dienste bei der Rohstofferkundung durch Bereitstellung geeigneter wissenschaftlich-technischer Infrastruktur unterstützen soll (Die Bundesregierung 2019: 17). Dem könnte auch die noch stärkere Nutzung von bestehenden Rohstoffnetzwerken dienen. Als Beispiel sei hier das Forum für Bergbau, Minerale, Metalle und nachhaltige Entwicklung erwähnt.

Optimierung der Zulassungsverfahren

Die heimische Rohstoffgewinnung setzt eine Zulassung entsprechender Gewinnungsstellen voraus. Je nach Art des Rohstoffs und der Gewinnung gibt es dafür unterschiedliche rechtliche Zulassungsvoraussetzungen und -verfahren, wofür jeweils unterschiedliche Stellen zuständig sind. Häufig unterliegen dabei die Fachplanungsverfahren einer Beteiligung der Öffentlichkeit. Dies ergibt sich aus den erforderlichen Umweltverträglichkeitsprüfungen, die im Rahmen der Zulassungsverfahren verpflichtend sind, wenn die Größe der beanspruchten

Abbaufäche mehr als zehn ha umfasst, andere für das Vorhaben erforderliche Genehmigungen werden ohne Öffentlichkeitsbeteiligung aufgestellt und zugelassen. Darauf zu achten ist in dem Zusammenhang, dass die unterschiedlichen Zuständigkeiten bei der Zulassung und Aufsicht von Abgrabungen die nachhaltige Rohstoffsicherung nicht erschweren.

Sicherstellung der Nachfolgenutzung

Mit der Förderung heimischer Rohstoffe geht meist ein Eingriff einher, der sich auf Natur und Umwelt auswirken kann und daher auch häufig in der Kritik steht. Er wird mit einer Flächeninanspruchnahme, einem Eingriff in die Landschaft sowie Auswirkungen auf den Natur- und Wasserschutz verbunden.

Der Rohstoffabbau stellt aber immer nur eine vorübergehende Flächeninanspruchnahme dar. Das unterscheidet ihn beispielsweise von Flächennutzungen für Siedlungs- oder Verkehrszwecke, durch deren Flächenverbrauch andere Nutzungen auch langfristig ausgeschlossen sind. Nach dem Auslaufen des Rohstoffabbaus aufgrund der Ausschöpfung der Vorkommen werden die vorübergehend in Anspruch genommenen Flächen dagegen wieder renaturiert. Die mit dem Rohstoffabbau insgesamt verbundene Flächenbindung ist im Übrigen gering (einschließlich dem derzeit noch erfolgenden Braunkohleabbau etwa 0,4% der Gesamtfläche von NRW; nochmal zum Vergleich: für Siedlungs- und Verkehrszwecke sind 24% der Fläche dauerhaft gebunden).

Im Landesentwicklungsplan wird daher auch festgelegt, dass die Flächen, die vorübergehend für den Rohstoffabbau genutzt werden, abschnittsweise und zeitnah zu rekultivieren bzw. wiedernutzbar zu machen sind (Raumordnungsziel 9.2-5 des LEP NRW). Dazu ist in den Regionalplänen die Nachfolgenutzung zeichnerisch festzulegen. Für Rohstoffe, die im Untertagebau abgebaut werden (z.B. Salze, Erze, Schwespat, Dachschiefer), erfolgen in den Regionalplänen in der Regel keine räumlichen Festlegungen, es wird lediglich für deren Gewinnung in einem Grundsatz festgehalten, dass bei deren obertägigen Einrichtungen eine größtmögliche Verträglichkeit mit anderen Raumnutzungen angestrebt werden und Möglichkeiten der Konfliktminderung genutzt werden sollen (Raumordnungsziel 9.2-6 des LEP NRW).

Häufig werden die zuvor land- oder forstwirtschaftlich genutzten Flächen dann wieder in derartige Nutzungen überführt, es können aber auch vielfältige neue Landschaften entstehen, die dann anderweitig genutzt werden. In Hinblick auf den Naturschutz können solche Nutzungen sogar mit höherer Artenvielfalt und Biodiversität verbunden sein, als dies zuvor der Fall war. Zudem kann durch eine entsprechende Gestaltung – etwa durch das Entstehen von Baggerseen und einer dazu passenden Freizeitinfrastruktur – eine Landschaft mit hohem Freizeitwert entstehen.

Die Aspekte im Zusammenhang mit der Nachnutzung von vorübergehend für den Rohstoffabbau genutzten Flächen sollten künftig noch stärker hervorgehoben werden. Dies könnte dann nämlich zu einer steigenden gesellschaftlichen Akzeptanz des

heimischen Rohstoffabbaus beitragen (damit wurde z.B. in den Niederlanden gute Erfahrungen gemacht).

Veröffentlichung geologischer Daten

Der Zugang zu geologischen Daten war lange beschränkt, da sie häufig durch kommerzielle Erkundungen des Untergrunds erhoben werden, sodass sie meist nicht verfügbar waren oder gegen Entgelt erworben werden mussten (Die Bundesregierung 2019: 15). Durch das Geologiedatengesetz (GeolDG) wird die Übermittlung, die dauerhafte Sicherung und die öffentliche Bereitstellung geologischer Daten geregelt. Auf diese Weise sollen im Bereich der Rohstoffsicherung Investitionen und Innovationen durch eine Senkung des Aufwands für den Datenzugang generiert werden.

Das GeolDG regelt die Übermittlung und dauerhafte Sicherung sowie die öffentliche Bereitstellung von geologischen Daten. Dies betrifft beispielsweise Daten, die mit Hilfe von Bohrungen oder anderen Erkundungsmethoden im Rahmen der Aufsuchung von Rohstoffvorkommen und der Erkundung von Lagerstätten gewonnen werden. Ein zentrales Element des GeolDG ist dabei die Kategorisierung verschiedener Datenarten (Nachweis-, Fach- und Bewertungsdaten), an die sowohl die Vorschriften zur Übermittlung dieser Daten an die zuständige Behörde (in NRW ist das der Geologische Dienst NRW), als auch die zeitlich gestaffelte öffentliche Bereitstellung dieser Daten anknüpfen.

Der Geologische Dienst NRW verfügt bereits über einen enormen Bestand an kommerziell, also von Wirtschaftsunternehmen erhobener und übermittelter geologischer Daten. Das Gesetz erstreckt sich daher auch auf diese umfassenden Alt-datenbestände.

Insoweit wurde der Zugang zu geologischen Daten gesetzlich geregelt und dadurch die Voraussetzung dafür geschaffen, dass sich die Datenverfügbarkeit deutlich verbessert. Das GeolDG ist allerdings erst Mitte des Jahres 2020 in Kraft getreten, sodass einstweilen noch abgewartet werden muss, wie es sich perspektivisch auf die Datenverfügbarkeit auswirken wird. Inwieweit sich die im Gesetz geregelten Veröffentlichungsfristen bewähren, wird im Rahmen der vorgesehenen Evaluierung des Gesetzes zu prüfen sein.

FuE-Förderung von Rohstoffabbautechnologien

Aufgrund seiner jahrzehntelang vom Rohstoffabbau geprägten Historie weist NRW in der Forschung und bei der Technologieentwicklung im Bereich Rohstoffabbau – einschließlich des Kohlebergbaus – erhebliche Stärken auf. Diese sollten auf den verschiedenen Ebenen – Universitäten, Fachhochschulen, außeruniversitären Forschungseinrichtungen und Unternehmen – erhalten bzw. ausgebaut werden. Zum einen könnte hierdurch ein weltweiter Wissens- und Technologietransfer in andere Rohstoffförderländer erfolgen, zum anderen eine Weiterentwicklung der Technologien in Hinblick auf einen nachhaltigen heimischen Rohstoffabbau. Der Rohstoffabbau ist technologisch teilweise sehr anspruchsvoll, da er mitunter

durch den intensiven Einsatz von Computertechnologien und Robotern geprägt ist. Daher gilt es, das vorhandene Know-how gezielt zu sichern und auszubauen, auch z.B. durch eine mittelfristige Umwidmung der Kohlebergbauforschung.

Das *Institute for Advanced Mining Technologies* (AMT) der RWTH Aachen ist als Bergbauinstitut auf die Erforschung und Entwicklung von Technologien im Bereich der Digitalisierung und Automatisierung von Maschinen und Prozessen im unter- und übertägigen Bergbau spezialisiert. Es gilt in diesem Bereich als eines der führenden Institute in Europa. Im Fokus stehen im Sinne von Bergbau 4.0 die Nutzbarmachung von Informationen zur Prozess-, Umfeld- und Maschinenüberwachung mit Hilfe von Sensoren, die den rauen Umgebungsbedingungen des Bergbaus gewachsen sind, sowie moderner Verfahren der Maschinen- und Prozessdatenanalyse. Diese Kapazitäten gilt es zu nutzen und auszubauen, besonders vor dem Hintergrund, dass es in Deutschland nach Angaben aus Expertengesprächen nur eine überschaubare Zahl universitärer Lehrstühle und Institute gibt, die sich direkt mit der Gewinnung von primären mineralischen Rohstoffen befassen.

Trotz bereits bestehender Stärken erscheint eine weitere Stärkung der rohstoffwirtschaftlichen, mineralogischen und metallurgischen Ausrichtung der Hochschulen sinnvoll. Das würde auch dabei helfen, dass die heimische Rohstoffgewinnung künftig ressourcenschonender und nachhaltiger betrieben werden kann. Dazu eröffnen beispielsweise die Digitalisierung, die Automatisierung und die Künstliche Intelligenz große, bislang aber noch weitgehend ungenutzte Potenziale, die es daher stärker zu realisieren gilt (GERRI 2021: 10). Hierdurch würde auch die gesellschaftliche Akzeptanz der heimischen Rohstoffgewinnung steigen, was sich dies positiv in Hinblick auf die Umsetzung der Zulassungsverfahren für geplante Rohstoffvorhaben auswirken könnte.

Information und Aufklärung

Widerstände gegen Vorhaben zum Rohstoffabbau, die in konfliktträchtigeren Räumen, in die künftig vorgedrungen werden muss, wenn Vorkommen an konfliktfreieren Standorten ausgeschöpft sind, können umso eher überwunden werden, je expliziter die Nachfolgenutzung festgelegt und dadurch gesellschaftliche Akzeptanz hervorgerufen wird. Informations- und Aufklärungsaktivitäten könnten nützlich sein, um die Nachhaltigkeit der heimischen Rohstoffgewinnung herauszustellen.

Der Geologische Dienst NRW hatte dies schon einmal durch die Herausgabe einer Rohstoffbroschüre adressiert (Geologischer Dienst NRW 2011), das Bundesministerium für Wirtschaft und Energie gab mit einer ähnlichen Intention die Broschüre „Rohstoffe – Bergbau, Recycling, Ressourceneffizienz – wichtig für Wohlstand und Arbeitsplätze“ heraus (BMWi 2021c). Ähnliche in diese Richtung gehende Aktivitäten könnten hilfreich sein, gesellschaftliche Konfliktlagen in Hinblick auf die Gewinnung heimischer Rohstoffe zu entschärfen.

Regulierung der Kiesausfuhren

Die Kieseexporte von NRW in den Beneluxraum sind immer mal wieder Anlass für Kritik. So wird von Umweltverbänden kritisiert, dass Eingriffe in Natur und Landschaft in NRW vorgenommen werden müssten, um die Defizite der Kiesförderung der Niederlande auszugleichen. Angeführt wird die restriktive Zulassungs- und Genehmigungspraxis in den Niederlanden, die mitverantwortlich für die zu geringe Kiesförderung vor Ort sein soll. Daraus wird schließlich die Forderung abgeleitet, den Kiesmarkt stärker zu regulieren, um die NRW-Ausfuhren von Kies in den Beneluxraum nach Möglichkeit zu unterbinden.

Zunächst einmal ist hierzu anzumerken, dass die Defizite bei der Kiesversorgung in den Niederlanden oder auch in Belgien vor allem damit zu tun haben, dass diese Länder aus geologischen Gründen geringere Kiesvorkommen aufweisen, sodass sie keine Selbstversorger sein können. Es stimmt, dass die landesplanerische Praxis in den Niederlanden zeitweise restriktiv war, das hat sich in den vergangenen Jahren aber wieder gelockert, sodass der Abbau verschiedener Kiesvorkommen genehmigt werden konnte. Der Kieseinfuhrbedarf der Niederlande hat sich daher im zurückliegenden Jahrzehnt halbiert.

Grundsätzlich ist gegen Ausfuhren von Rohstoffen in andere EU-Länder aus ordnungsrechtlicher Sicht nichts einzuwenden. Schließlich sind die Niederlande ein benachbartes Land, dass in Bezug auf Kies auf Unterstützung durch andere Länder angewiesen ist. Schließlich ist auch zu bedenken, dass die Transportkosten bei Ausfuhren in die Niederlande höher sind, sodass sich alleine schon daraus ökonomische Grenzen hinsichtlich des Umfangs der Ausfuhrmengen ergibt. Auch Ausfuhren von Kies im Rahmen des Intrahandels mit anderen Bundesländern werden im Übrigen ja nicht begrenzt. In der Rohstoffstrategie der Bundesregierung werden die Bundesländer sogar ausdrücklich dazu angehalten, dass bei der Verankerung von Rohstoffvorkommen in ihren Regional- und Landesplänen „länderübergreifende rohstoffspezifische Bedarfe berücksichtigt werden“. Die Argumentation, die gegenüber den Niederlanden vorgebracht wird, könnte ansonsten auch für den Intrahandel geltend gemacht werden, was dann dazu führen würde, dass Märkte nicht mehr funktionieren.

Es dürfte daher eine Marktregulierung in Hinblick auf Kiesausfuhren in die Niederlande, mit der sehr gute Wirtschaftsbeziehungen bestehen und die seinerseits auch Rohstoffe nach NRW liefern, nur schwer begründbar sein. Sollten die Ausfuhren gestoppt werden, würde das für die Niederlande im Übrigen bedeuten, dass es den Kies dann aus anderen Ländern zu voraussichtlich höheren Kosten einführen müsste, verbunden mit insgesamt vermutlich größeren negativen Umweltwirkungen. Abgesehen davon würde eine solche Ausrichtung dem Prinzip eines freien Warenverkehrs widersprechen.

Durchführung von Kosten-Nutzen-Abwägungen

Insbesondere bei Kies und Sand sind Transporte über mehr als 50 km wirtschaftlich meist nicht mehr sinnvoll, zumindest wenn es sich um den mit Abstand wichtigsten Verkehrsträger

Lkw handelt. Es sollten daher die Lieferstrukturen optimiert werden, um Transportkosten so niedrig wie möglich zu halten. Kies und Sand, die zu den Steinen und Erden gehören, stellen damit eine Besonderheit unter den Rohstoffen dar, da ihre Transportkostensensitivität außerordentlich hoch ist.

Im Gegensatz dazu spielen bei den meisten metallischen Importrohstoffen, aber auch bei einigen heimischen Rohstoffen, wie z.B. Ton, Transportkosten keine vergleichbare Rolle. Transportkosten werden somit zu einem relevanten ökonomischen, aufgrund des mit den Transporten verbundenen Energieaufwands aber auch ökologischen Faktor, wodurch somit die Struktur der Rohstoffförderung mit beeinflusst wird, denn eine Produktion vor Ort ist umso vorteilhafter, je höher der Transportkostenanteil ist. Bei Kies und Sand ist daher in der Fläche eine möglichst gut diversifizierte Struktur der Rohstoffförderung anzustreben bzw. zu gewährleisten.

Aber auch bei weniger transportkostenintensiven Rohstoffen ist festzustellen, dass sich rohstoffaufbereitende Unternehmen meist auch in Regionen ansiedeln, in denen die Bodenschätze gewonnen werden. Sollten diese Rohstoffe nicht mehr abgebaut werden, würde nicht nur die Beschäftigung und Wertschöpfung der rohstofffördernden, sondern auch der rohstoffverarbeitenden Industrien wegfallen und möglicherweise sogar von Teilen der Industrien, die aus diesen und weiteren Rohstoffen Fertigprodukte herstellen, die dann importiert würden. Insofern kann die gesamte Wertschöpfungskette betroffen sein, an deren Anfang die Rohstoffe stehen.

Die gesamtwirtschaftliche Bewertung eines Wegfalls von Teilen der Wertschöpfungskette ist unklar. Wenn beispielsweise die Flächen- und Ressourceninanspruchnahme mit hohen Opportunitätskosten einhergeht, kann es ökonomisch durchaus sinnvoll sein, auf eine Rohstoffförderung einschließlich der nachfolgenden Teile der Wertschöpfungskette zu verzichten. Die nicht mehr für die Rohstoffförderung benötigten Flächen könnten dann anderweitig genutzt werden, beispielsweise für eine land- oder forstwirtschaftliche Nutzung, für den Natur-, Wasser- und Gewässerschutz oder für Siedlungs- bzw. Verkehrszwecke. Auch mit den freigesetzten Arbeitskräften und Kapitalgütern könnte möglicherweise in anderen Wirtschaftsbereichen eine höhere Wertschöpfung erzielt werden.

Die NRW-Rohstoffpolitik sollte die Güterabwägung zwischen verschiedenen Nutzungsinteressen abwägen. Dabei gilt es zu bedenken, dass keine rein ökonomisch intendierte Entscheidung etwa dergestalt getroffen werden kann, einen möglichst hohen gesamtwirtschaftlichen Nutzenüberschuss zu erzielen. Zum einen gibt es dafür zu viele Unbekannte, da Kosten und Nutzen nur unter Unsicherheit bewertet werden können, zum anderen vollziehen sich Strukturwandelprozesse über lange Zeiträume hinweg, was eine ökonomische Bewertung erschwert. Unter diesen Voraussetzungen erscheint selbst eine teilweise Aufgabe der heimischen Rohstoffgewinnung kaum darstellbar. Eine weitere Erhöhung der Effizienz der Rohstoffgewinnung und der Rohstoffeffizienz in der Industrie erscheinen aber in jedem Fall anstrebenswert.

5.5 Erhöhung des Sekundärrohstoffeinsatzes und Etablierung einer Kreislaufwirtschaft

Ziel der Handlungsempfehlungen in diesem Abschnitt ist es, geeignete Maßnahmen zu identifizieren, die den Einsatz von Primärrohstoffen durch eine Erhöhung des Einsatzes von Sekundärrohstoffen verringern, womit auch eine zunehmende Etablierung der Kreislaufwirtschaft einhergeht. Potenziale für Sekundärrohstoffe resultieren in erster Linie aus dem Recycling von End-of-Life-Produkten und zielen darauf ab, die darin enthaltenen Rohstoffe zumindest zum Teil in den Stoffkreisläufen zurückzuführen. Grund dafür ist, dass die Recyclingpotenziale im Rahmen der Produktion mittlerweile vielfach schon ausgeschöpft sind.

Dies schließt ein, den Rohstoffeinsatz effizienter zu gestalten und ihn damit, Primär- und Sekundärrohstoffe zusammengekommen, zu reduzieren. Die Etablierung einer nachhaltigeren Kreislaufwirtschaft bedeutet auch, dissipative Verluste möglichst gering zu halten, die z.B. aufgrund des Einsatzes von Recyclingverfahren oder durch (teilweise illegale) Exporte werthaltiger Schrotte etwa von Altautos oder Altelektronikgeräten entstehen. Dabei müssen auch so zentrale Punkte wie ein *zirkuläres Design*, die Sicherung der Sekundärmaterialien, die Verbesserung der Recyclingtechnologien und der Aufbau von Recyclingkapazitäten Berücksichtigung finden.

Etablierung zirkulärer Designs

Beim *zirkulären Design* geht es darum, die Eigenschaften von Produkten schon bei deren Erstellung so zu gestalten, dass sie nach ihrem Lebensende möglichst gut recycelbar sind. Dies ist mit einem starken Hebel verbunden, da die Recyclingprozesse dadurch äußerst positiv beeinflusst werden können. Ein Beispiel dafür ist die Herstellung von Primärmaterialien im Kunststoffbereich. Die Hersteller sind dazu verpflichtet, die Recyclingfähigkeit der Primärkunststoffe sicherzustellen, damit daraus durch das Kunststoffrecycling Sekundärmaterialien hergestellt werden können. Bedeutende Potenziale für die Realisierung eines *zirkulären Designs* ergeben sich aber beispielsweise auch bei der Entwicklung neuer Generationen von Traktionsbatterien.

Wichtig ist, dass ein *zirkuläres Design* erstmal angestoßen wird, wobei der Impuls hierfür aus der Industrie kommen, aber auch von der Politik gegeben werden kann. Haben erst einmal einige zentrale Akteure entsprechende Innovationen getätigt und die Recyclingfähigkeit der Produkte als Verkaufsargument etabliert, indem es ihnen gelungen ist, gute und praktikable Ansätze zu finden, springen meist weitere Marktplayer auf den Zug auf und es kommt zu Windhund-Effekten. Bisherige Erfahrungen aus dem Kunststoffrecycling zeigen, dass teilweise die Anreize auf Ebene der Hersteller für sich genommen nicht ausreichen, um Impulse für die Realisierung eines *zirkulären Designs* zu setzen. Die Designs wurden beispielsweise durch die Verwendung von Verbundmaterialien oder schlecht recycelbare Kunststofffraktionen im Zeitablauf unter Recyclinggesichtspunkten immer ungünstiger.

Was die Einflussnahme seitens der Politik anbelangt, ist allerdings Vorsicht geboten und einiges an Fingerspitzengefühl gefragt. Es ist meist nämlich weniger zielführend, zu schnell mit ordnungsrechtlichen Vorgaben neue Produktdesigns erzwingen zu wollen. Zunächst einmal müssen die entsprechenden Designs nämlich entwickelt werden, was meist eine komplexe Aufgabe ist. Dazu ist es anfangs häufig sinnvoller, die intrinsische Motivation der industriellen Entwickler zur Entfaltung kommen zu lassen, so wie das zurzeit bei den Designs von Automobilen und Batterien zumindest ansatzweise erkennbar ist. Wenn entsprechende Designs erst einmal vorliegen, können diese dann schrittweise zum Standard und letztendlich dann auch verpflichtend gemacht werden. In dem Fall, dass dies nicht gelingt, sollte jedoch auch durch die Politik nachgesteuert werden.

Zur Beschleunigung dieser Entwicklung seitens der Politik kommen auch indirekte Anreize infrage. Eine solche Möglichkeit wäre z.B. die Einführung eines Labels zur Recyclingfähigkeit nach dem Vorbild des Labels zur Energieeffizienz bei Elektrogeräten (acatech et al. 2017: 35). Hierdurch könnten Produkte bzw. Produktdesigns ausgezeichnet werden, die einen besonderen Beitrag zur Erhöhung der Recyclingfähigkeit leisten, die dann beispielsweise einen „Rohstoffengel“ verliehen bekommen. Voraussetzung dafür wäre, dass die Recyclingfähigkeit objektivierbar und messbar ist. Zu denken wäre ferner auch an eine gezielte Forschungsförderung in Form von Beihilfen für besonders innovative Designentwicklungen.

Zu bedenken ist, dass keineswegs alle Entwicklungen dahingehen, möglichst recyclingfähige Produkte zu erstellen und sich eine stärkere Umsetzung einer Kreislaufwirtschaft quasi automatisch einstellt. Der grundsätzliche Trend mag in diese Richtung gehen, es gibt aber durchaus auch Entwicklungen, die dem entgegenstehen. So gibt es in einigen Bereichen Trends, die auf eine Verkürzung der Produktlebenszyklen hinwirken, was in Hinblick auf eine verstärkte Kreislaufwirtschaft kontraproduktiv ist. Auf die Kurzlebigkeit der Handys sei an dieser Stelle nur einmal als Beispiel verwiesen, da die Nutzung von Smartphones ein weltweiter Megatrend ist und diese zugleich viele risikobehaftete Rohstoffe enthalten. Der Verwirklichung einer Kreislaufwirtschaft steht aber entgegen, dass in einigen Bereichen die Möglichkeiten zurückgefahren wurden, defekte Produkte wieder reparieren zu können, stattdessen werden diese Produkte zugunsten von Neukäufen entsorgt.

Ein anderer Trend besteht darin, dass die Entwicklung und Umsetzung von *zirkulären Designs* sogar schwieriger werden könnte, weil bei einigen Produkten die Komplexität zunimmt und die Konzentration der Inputmaterialien immer geringer wird. Dadurch wird die Trenn- und Recycelbarkeit erschwert, zudem treten zunehmende Probleme auf, mögliche Fort- oder Rückschritte in den Produktdesigns noch messen zu können.

Vollintegrierte Batterien bzw. Akkus in einigen neuentwickelten Autos oder Handys sind ein Beispiel dafür, wie die Recyclingfähigkeit auch konterkariert werden kann.

Zu bedenken ist auch, dass Stoffkreisläufe nicht immer vollständig durchdacht sind oder nicht wahrgenommen werden. Es ist daher auch ratsam, industrielle Entwicklungen nicht als Einbahnstraße zu sehen, sondern als dynamischen Prozess, der nicht immer einer inhärenten Logik folgt und zwangsläufig in die Richtung geht, die gesellschaftlich erwünscht sein mag. Entscheidend ist aber letztendlich, dass Indikatoren gefunden werden, welche die Recyclingfähigkeit von Produkten messen können, und die Produktverantwortung bei der Industrie liegt.

Letzteres muss von der Politik durch entsprechende Regulierungen herbeigeführt werden, ohne dadurch die intrinsische Motivation der Unternehmen, entsprechende Designs zu entwickeln, zu konterkarieren. Vielmehr sollten etwa durch eine Vergabe der erwähnten Recycling-Labels Anreize geschaffen werden. Auch die öffentlichen Beschaffungsstellen müssen sich umstellen und Nachhaltigkeitsgesichtspunkte intensiver zugrunde legen, statt nur den Preis. In dieser Hinsicht könnte NRW Impulse setzen und neue Maßstäbe schaffen.

Erhöhung des Sekundärmaterials durch höhere Sammelquoten und Eindämmung von Exporten

Bislang werden nur ca. 45% der Elektroaltgeräte gesammelt, wobei die gesetzliche Mindestquote mittlerweile auf 60% angehoben wurde. Handys landen überwiegend – auch wenn es verboten ist – im Restmüll oder verschwinden in Schubladen, etwa aus Sorge vor dem Missbrauch der in Handys gespeicherten Daten. So schlummern in deutschen Haushalten schätzungsweise 200 Mill. Handys (Bookhagen und Bastian 2020: 2). Für Smartphones wäre daher die Etablierung eines Pfandsystems bzw. Leasingkonzepts eine gute Möglichkeit, um die bislang noch relativ niedrigen Sammelquoten schnell zu erhöhen. Die Leasinggebühren würden dann so lange weiterlaufen, bis ein Handy oder ein anderes Elektronikaltgerät (z.B. ein Monitor) wieder zurückgegeben wird (acatech et al. 2017: 34).

Mit der Definition von Rücknahmepflichten und dem Ausbau einer entsprechenden Sammelinfrastruktur könnten dadurch die Sammelquoten substantiell erhöht werden. Zusammen mit einem besseren *zirkulären Design*, das die spätere Recyclingfähigkeit schon bei der Produktgestaltung berücksichtigt, sowie verbesserten Recyclingtechnologien und dem Aufbau von entsprechenden Recyclingkapazitäten würde das einen Durchbruch in Hinblick auf die Umsetzung einer Kreislaufwirtschaft mit sich bringen.

Ein großes Problem stellen illegale Exporte von End-of-Life-Schrotten dar. Besonders prägnant ist dieses Problem bei den illegalen Exporten von Altautos, aber auch bei Elektronikschrotten. Von den in Deutschland jährlich anfallenden ca. 3 Mill. Altautos werden nur etwa 500 Tsd. hier recycelt, der Rest wird exportiert. Das bedeutet, dass nur rund ein Sechstel der Altautos einem Recycling in Deutschland zugeführt wird.

Zwar handelt es sich dabei nicht in allen Fällen um illegale Exporte, vermutlich aber zu einem relativ großen Teil. Die Altfahrzeug-Verordnung hat sich daher bislang als weitgehend wirkungslos erwiesen, sodass in diesem Bereich ein dringender Neuregelungsbedarf besteht.

Das Ausmaß dieser illegalen Exporte resultiert aus Kostenvorteilen der Recyclingunternehmen im Ausland, die aufgrund geringerer Auflagen weniger nachhaltig recyceln, sodass sie höhere Schrottpreise zahlen können. Möglich werden die illegalen Exporte aber erst aufgrund falscher Deklarierungen. Altautos dürfen nämlich nur dann exportiert werden, wenn sie noch funktionsfähig sind (gleiches gilt für Elektronikgeräte). Sie werden dann als Warenexport und nicht als Schrottexport deklariert. Das Problem ist offenbar, dass die Ausfuhrkontrollen zur Einhaltung der verbindlichen Standards für 2nd-Life-Anwendungen (EN50625) nicht ausreichend sind.

Altautos oder Altelektronikaltgeräte werden verstärkt über Osteuropa nach Südostasien und besonders nach Nordafrika exportiert, selbst wenn sie gar nicht mehr funktionieren. Falls sie noch fahren sollten, wird der Katalysator ausgebaut und verkauft. Die Autos werden dann ohne Katalysator noch eine gewisse Zeit lang weitergefahren. Wenn es irgendwann nicht mehr funktioniert, wird das Getriebe ausgebaut und verkauft, der Rest landet dann auf einer Müllhalde. Die wenigsten dieser Autos werden wieder nach Deutschland zurückkehren.

Der Gesetzgeber ist aufgerufen, geeignete Maßnahmen einzusetzen, um hier Abhilfe zu schaffen. Dazu müsste die Altautoverordnung überarbeitet werden, die sich als nicht effektiv genug erwiesen hat. NRW sollte als großes Bundesland Druck ausüben, damit dies zeitnah geschieht, darüber hinaus aber auch prüfen, was es eigenständig tun kann.

Grundsätzlich gibt es verschiedene Möglichkeiten, illegalen Exporten Einhalt zu gebieten. Zunächst einmal könnten durch bessere Kontrollen der Einhaltung des Mindeststandards EN50625 unsachgemäße Second-use-Deklarationen verringert werden. Hierzu müsste der Zoll entsprechende Weisungen erhalten, um das geltende Recht umzusetzen. Dazu sollte die Transparenz erhöht und der Zoll dazu verpflichtet werden, zu dokumentieren, wie er seinen Nachweispflichten nachgekommen ist, dass keine Altautos, die eigentlich Abfall sind, als Produkt deklariert werden. Sehr vielversprechend dürfte eine solche Vorgehensweise allerdings nicht sein, wie die bisherige Entwicklung gezeigt hat. Besser wäre es daher, wenn die rechtlichen Bestimmungen entsprechend verschärft würden. Eine Möglichkeit, wie sich dies gestalten ließe, bestünde darin, dass für Autos ab einem bestimmten Alter vom Exporteur nachgewiesen werden müsste, dass die Altautos noch funktionsfähig sind, und nicht mehr, wie das bislang der Fall ist, vom Zoll. Durch eine solche Beweislastumkehr könnte bereits ein großer Teil der illegalen Exporte eingedämmt werden.

Noch effektiver wäre die Etablierung eines Pfandsystems, was bei entsprechender Ausgestaltung sowohl legale wie illegale Exporte vermeiden könnte, vorausgesetzt, das Pfand ist hoch genug. Ein solches Pfandsystem bietet sich insbesondere vor

dem Hintergrund der zunehmenden Elektrifizierung der Antriebe und des damit einhergehenden Einbaus von Lithium-Ionen-Batterien in die Elektroautos einher. Ein Pfand von beispielsweise 2 Tsd. € würde schlagartig dazu führen, dass diese Autos nicht mehr illegal exportiert, sondern einem nachhaltigen Recycling zugeführt würden. Unabhängig davon sollte das Recycling sinnvollerweise da erfolgen, wo es am nachhaltigsten betrieben wird, statt am billigsten.

Verbesserung der Recyclingtechnologien

Die Bereitstellung möglichst gut recycelbaren Sekundärmaterials ist eine wesentliche Voraussetzung für ein effektives Recycling. Das alleine nützt aber wenig, wenn es auf der einen Seite keine adäquaten Verfahren gibt, um ein qualitativ hochwertiges Recycling zu gewährleisten, auf der anderen Seite aber Recyclingkapazitäten fehlen, um die zusätzlichen Sekundärmaterialien auch verarbeiten zu können. Kontraproduktiv ist auch, wenn die Rahmenbedingungen so gestaltet sind, dass sich ein Recycling von Wertstoffen nicht lohnt.

Die künftige Wirtschaftlichkeit und Umweltverträglichkeit von Recyclingprozessen lässt sich noch nicht abschließend beurteilen. An vielen Stellen wird aber ersichtlich, dass sich der Einsatz von Recyclingtechnologien lohnt, wenn positive externe Effekte der Kreislaufwirtschaft Berücksichtigung finden. Inwieweit sich ein Recycling lohnt, hängt neben den politischen Rahmenbedingungen im Übrigen auch von den Entwicklungen der Technologien und der Rohstoffmärkte ab. Lernprozesse, wie sie beispielsweise beim Kunststoffrecycling und derzeit auch beim Traktionsbatterien-Recycling zu beobachten sind, führen dazu, dass bei günstigen Rahmenbedingungen die Wirtschaftlichkeit der Verfahren zunimmt.

Gerade beim Metallrecycling konzentrieren sich die bisherigen Technologien noch sehr stark auf die Massenrohstoffe wie Aluminium, Eisen und Kupfer oder auf die sehr werthaltigen Edelmetalle. Bei den meisten anderen Metallen sind die Recyclingquoten relativ gering und auch das Wachstum der Recyclingmengen beträgt nur ca. 2-3% pro Jahr. Da die Bindungsdauer von Rohstoffen in Produkten sehr unterschiedlich ist, muss zudem zwischen den Recyclingquoten von End-of-Life-Produkten und den daraus resultierenden Substitutionsquoten bei neuen Produkten unterschieden werden. Letztere sind meist noch deutlich geringer, da nicht genügend Sekundärmaterial zur Verfügung steht.

Für metallische Rohstoffe, deren Nachfrage künftig stark steigt (z.B. nach Batterierohstoffen oder Seltenerdenmetallen), gibt es aus technologischen und wirtschaftlichen Gründen noch keine Verfahren, die ein wirtschaftliches Recycling ermöglichen. Gleichwohl befindet sich hier vieles in einem erfolgversprechenden Entwicklungsstadium. In NRW wird beispielsweise gezielt an der Weiterentwicklung bestehender Verfahren geforscht, um deren Effizienz zu erhöhen. Dabei gilt es auch verstärkt in Augenschein zu nehmen, dass der Transfer von Grundlagenwissen in Anwendungen gelingt (Dehio und Rothgang 2015). Daher besteht an dieser Stelle ein sehr guter Anknüpfungspunkt für die Politik, diese Entwicklungen durch

eine gezielte Forschungs- und Entwicklungsförderung zu unterstützen und voranzubringen.

Das Know-how im Bereich Recycling ist in den Hochschulen, Forschungseinrichtungen und Unternehmen von NRW reichlich vorhanden, worauf gut aufgebaut werden kann. Dies betrifft besonders die Entwicklung von Recyclingtechnologien von Batterien (siehe unten), aber auch beim Elektroschrott. Es gibt in NRW bereits eine ganze Reihe von Aktivitäten im Bereich der öffentlichen Förderung von Recyclingtechnologien, die schrittweise weiter ausgebaut werden sollten, damit sich das Land als einer der führenden Standorte bei der Entwicklung von Recyclingtechnologien etabliert. In Europa wird es künftig einige wenige große Recycling-Cluster geben, daher sollte NRW alles daran setzen, dass sich eines dieser Cluster hier im Land herausbildet.

Ausbau der Recyclingkapazitäten

Ein entscheidender Punkt ist der Aufbau ausreichender Recyclingkapazitäten. Nur wenn diese vorhanden sind, können die vorliegenden Sekundärmaterialien mit den entwickelten Recyclingtechnologien auch zu Sekundärrohstoffen umgewandelt werden. Der Ausbau der Kapazitäten setzt allerdings erhebliche Investitionen in Anlagen voraus, deren Rentabilität von verschiedenen Faktoren abhängt, die sich mitunter vorab nur schwer abschätzen lassen, wie z.B. die Entwicklung der Primärrohstoffpreise oder die Effektivität der teilweise erst noch zu entwickelnden Recyclingtechnologien.

Was den Ausbau der Kapazitäten metallverarbeitender Raffinerien anbelangt, sind die Voraussetzungen in NRW aufgrund der großen Bedeutung der Stahl- und metallverarbeitenden Industrie aber gut. Es gibt in NRW neben vielen Primär- auch zahlreiche Sekundärhütten. Allerdings sind die Kapazitäten der Hüttenwerke noch zu gering, um wesentlich größere Schrottmengen als bislang verarbeiten zu können, zudem fehlen vielfach auch die entsprechenden Demontagekapazitäten. Sollte es also tatsächlich gelingen, die Mengen an Schrotten deutlich zu erhöhen, sind entsprechende Investitionen unabdingbar. Sollten diese nicht getätigt werden, wäre die Recyclingkette erst einmal unterbrochen und käme somit ins Stocken. Neben den Kapazitäten für das Recycling von Schrotten müssen aber auch jene zur Aufbereitung und Nutzung von Schlacken, Aschen und Stäuben erweitert und zudem noch die Schwermetallproblematik gelöst werden.

An dieser Stelle ist es nicht die Aufgabe der Politik, die entsprechenden Investitionen vorzunehmen, vielmehr stehen dahinter Unternehmensentscheidungen, die in erster Linie nach wirtschaftlichen Kriterien gefällt werden. Investitionen können aber durch geeignete politische Maßnahmen gefördert werden, wie z.B. Investitionszulagen oder steuerliche Erleichterungen. Ein anderer Punkt sollte ebenfalls nicht außer Acht gelassen werden: Es wird früher oder später Druck von Seiten der *Original Equipment Manufacturer* (OEM; Hersteller fertiger Komponenten) entstehen, die ein vitales und zunehmendes Interesse daran entwickeln werden, möglichst nachhaltig zu produzieren. Dazu benötigen sie aber Sekundärrohstoffe.

Diese Entwicklung böte gute Chancen, dass es zu den erforderlichen Investitionen kommt, zumal die Recyclingwirtschaft sehr wahrscheinlich ein Wirtschaftszweig sein dürfte, der künftig von großen Wachstumschancen geprägt sein wird.

Altautorecycling

In Deutschland werden rund 500 Tsd. Altautos pro Jahr recycelt. Die Recyclingquote von 85% sagt allerdings wenig aus, da zum einen, wie erwähnt, rund 85% der Altautos exportiert werden, und zum anderen die Qualität des Recyclings nicht berücksichtigt wird. Die genannten Voraussetzungen für ein effektives Recycling sind noch nicht im erforderlichen Maße erfüllt, nämlich die Festlegung und Einhaltung bestimmter Standards zur Recyclingfähigkeit bei der Produktgestaltung (*zirkuläres Design*) und die Verfügbarkeit ausgereifter Recyclingtechnologien. Zudem stellt gerade bei Autos auch die Demontage der werthaltigen Bestandteile mitunter ein Problem dar. So ist es zurzeit noch schwer umsetzbar, die zahlreichen Magnete, die in einem Auto verbaut sind, dem Recycling zuzuführen. Da das Recycling von Altautos noch mit einem hohen Aufwand verbunden ist, können inländische Recyclingunternehmen häufig weniger für Schrottautos bezahlen als beim (teilweise illegalen) Export zu erzielen ist.

Autos müssen daher künftig anders designet werden, damit sich Aluminium und andere Rohstoffe bis hin zu Lithium und Seltenerdenmetallen besser recyceln lassen. Es gibt vor dem Hintergrund des CO₂-Fußabdrucks und unter dem Postulat einer Nachhaltigkeit der Produktion einen eindeutigen Sinneswandel bei den Autoherstellern in Bezug auf das Produktdesign. Insbesondere Audi und BMW sind da zurzeit Vorreiter. Hier bietet sich für den Gesetzgeber ein Ansatzpunkt, Standards für das Produktdesign zu setzen.

Recycling von Elektronikgeräten

Entsprechend dem Kreislaufgedanken sollte beim Elektronikschrott in Prozessketten gedacht werden, und zwar von der Sammlung, über die Sortierung, die Demontage, die Einschmelzung bis hin zur Trennung und Aufbereitung. Dabei treten in allen Stufen dieser Prozesskette Verluste auf, sodass immer nur ein mehr oder weniger hoher Anteil der enthaltenen Wertstoffe recycelt werden kann.

Ein besonderes Problem stellen Handys dar. Der Unterschied von Handys gegenüber anderen Elektronikgeräten ist zum einen, dass Mobiltelefone häufig gewechselt werden, sodass die Rohstoffe meist deutlich weniger lang im Stoffkreislauf verbleiben, zum anderen werden sie aber auch in wesentlich geringererem Umfang gesammelt (siehe oben) und damit einem Recycling entzogen. Der Metallwert pro Smartphone liegt bei etwa 1,10 €, wobei dies fast vollständig auf den Wert der Edelmetalle Gold und Silber zurückgeht, während Kupfer, Palladium, Zinn, Kobalt, Seltene Erden und zahlreiche weitere Metalle nur in sehr geringem Umfang enthalten sind (Bookhagen und Bastian 2020: 4f.). Eine Tonne Handys hat demnach bei heutigen Metallpreisen und nach Abzug der Recyclingkosten einen Wert von rund 10 Tsd. €.

Das Recycling von Handys würde sich also durchaus lohnen, was erst recht bei höheren Metallpreisen und verbesserten Recyclingtechnologien gelten würde. Beispielsweise können heute die Lautsprecher Magneten in Handys noch nicht wirtschaftlich sinnvoll recycelt werden. Da hierin aber u.a. auch Seltenerdenmetalle enthalten sind, könnte sich der recycelbare Metallwert der Handys künftig noch erhöhen. Von politischer Seite wären daher perspektivisch drei Aspekte in Hinblick auf das Recycling von Handys in den Blick zu nehmen: (1) eine Veränderung der Produktstandards hinsichtlich einer Verbesserung der Recyclingfähigkeit der Mobiltelefone durch Vorgaben bei den Herstellern, (2) die Erhöhung der Sammelquoten (siehe oben) und (3) die Verbesserung der Technologien für das Recycling von Handys durch eine entsprechende Förderung von Forschung und Entwicklung.

Batterierecycling

Deutschland war in Bezug auf Batterietechnologien schon einmal führend, was im Zuge der Problematik des Bleigehalts dann aber ins Stocken kam. Das bedeutet jedoch nicht, dass auch das Know-how nicht mehr da wäre bzw. sich nicht mehr entwickeln ließe. Das trifft insbesondere auf die Traktionsbatterien zu, die in den kommenden Jahren in immer stärkerem Maße zum Betrieb von Kraftfahrzeugen eingesetzt werden. Der Umstand, dass Tesla gerade in Berlin die größte Batteriezellenfabrik der Welt errichtet, wird auch den Batteriestandort Deutschland wieder beflügeln. Die Batterietechnologien der Zukunft werden in hohem Maße von der Elektromobilität geprägt, was nach derzeitigem Stand der Technik auf Lithium-Ionen-Batterien hinauslaufen wird.

Derzeit ist entwicklungsmäßig noch sehr viel im Fluss, sodass es einstweilen noch keinen Regulierungsbedarf seitens des Gesetzgebers in Bezug auf eine Standardisierung des Designs von Traktionsbatterien gibt. Was die Standardisierung von Traktionsbatterien angeht, sollte erst einmal die weitere Entwicklung abgewartet werden, da die richtigen Batterieformen, von denen es zurzeit drei verschiedene gibt, erst noch weiterentwickelt werden müssen, was ein sehr dynamischer Prozess ist. Bei Bedarf und zum richtigen Zeitpunkt sollte dann der Gesetzgeber eingreifen, und zwar in Abstimmung mit Batterieherstellern, den OEMs und den Unternehmen der Recyclingwirtschaft. Auf Dauer bedarf es einer Standardisierung bzw. Vereinheitlichung sowohl der Batterieformen als auch der Demontage- und Recyclingfähigkeit. Für Spezialanwendungen, wie z.B. Smartphones, wird es aber auch künftig spezielle Batterien bzw. Batterietypen geben.

In den kommenden Jahren wird noch nicht so viel Sekundärmaterial zur Verfügung stehen, da die Lithium-Ionen-Batterien zum größten Teil erst verbaut werden müssen. 2030 könnte es in Deutschland aber bereits 12 Mill. bis 14 Mill. Elektroautos geben. Bis dahin werden die ersten E-Autos dann ihr Lebensende erreichen. Wie zuvor thematisiert, muss deren Export dann verhindert werden, um sie recyceln und die Rohstoffe in den Batterien wiedergewinnen zu können, denn Batterierohstoffe wie Lithium, Nickel, Mangan oder Kobalt sind risikobehaftet (siehe dazu auch den Abs. 3.3). Derzeit werden

in Deutschland pro Jahr zwischen 5 Tsd. und 7 Tsd. Tonnen Lithium-Ionen-Batterien recycelt. Lithium kann zwar noch nicht wiedergewonnen werden, die Recyclingrückstände werden aber gelagert, um den Rohstoff zu einem späteren Zeitpunkt mit Hilfe besserer Technologien zurückzugewinnen.

Das Recycling von Lithium-Ionen-Batterien wird also in größerem Stil erst in den 2030er-Jahren vonstattengehen. Bis dahin ist somit noch Zeit, Weichen zu stellen. Ein wichtiger Schritt ist die Neufassung der Batterieverordnung der EU, die jetzt als Entwurf vorliegt (Bundesrat 2020) und zurecht sehr positiv aufgenommen wurde. Im Mittelpunkt stehen darin nicht mehr nur die End-of-Life-Batterien, sondern es wird der gesamte Lebenszyklus der Batterien in den Blick genommen.

Dies ist insofern wichtig, da der gesamte Recyclingkreislauf der Batterien betrachtet werden muss, denn die Ladezyklen werden immer länger, sodass auch 2nd-Life-Nutzungen der Batterien in Betracht kommen, etwa als Stromspeicher, sodass sie erst danach ins Recycling eingehen müssen. Die künftigen Aktivitäten auf der Landesebene sollten dann mit den entsprechenden Neuregelungen zum Batterierecycling auf der EU- und Bundesebene abgestimmt werden.

Neu ist im Entwurf der Batterieverordnung, dass die zu erreichenden Recyclingquoten nicht mehr auf die Batterien insgesamt bezogen werden, sondern auf einzelne Rohstoffe wie Lithium, Nickel, Kobalt, Kupfer oder Aluminium. Rohstoffspezifische Recyclingquoten sind sinnvoll, denn alleine das Recycling des Stahlrahmens bringt bei Batterien bereits eine Quote von rund 50%, die aber wenig aussagt, da es nicht um optisch hohe Quoten geht, sondern um ein hochwertiges Recycling. Wichtig wäre aber, dass die Recyclingquoten für die einzelnen Rohstoffe in der endgültigen Fassung der Verordnung eine realistische Größenordnung haben, da dies sonst kontraproduktiv wäre und sinnvolle Prozesse eher behindern würden, da dann mehr auf Masse statt auf Qualität gesetzt wird.

Damit es zu einem steigenden Recycling von Lithium-Ionen-Batterien kommen kann, müssen die Recyclingverfahren verbessert werden. NRW weist hier bereits Stärken auf. Vom Unternehmen accurec in Krefeld werden weiterentwickelte Pyrolyse-Verfahren eingesetzt. Diese Verfahren waren bislang noch zu energieintensiv und ermöglichten nur eine teilweise Rückgewinnung der in den Batterien enthaltenen Metalle. Es sind weiterhin auch chemische Trennverfahren erforderlich, um Lithium, Kobalt und Nickel zurückzugewinnen zu können, wie sie z.B. von BASF entwickelt werden.

Privodius in Siegen verwendet patentierte Verfahren, die bereits aus dem Forschungsstadium heraus und relativ effizient sind. In NRW werden diese Entwicklungen durch eine breit angelegte Forschungsförderung unter Einschluss von Batterieforschungsfabriken und Demonstrationszentren sehr gut begleitet (siehe unten). Mit Hilfe dieser FuE-Förderung, die noch weiter ausgeweitet werden kann, werden die technischen und wirtschaftlichen Potenziale des Batterierecyclings frühzeitig zu realisieren versucht.

Ein weiterer wichtiger Schritt, der vom Gesetzgeber möglichst zügig umgesetzt werden sollte, ist die Einführung eines Batteriepasses. Recycler müssen nämlich genau wissen, welche Rohstoffe bzw. Schadstoffe in den Batterien enthalten sind: Wo kommen die Rohstoffe her? Was steckt in der Batterie drin? Was ist mit der Batterie zwischenzeitlich passiert? Wie alt ist die Batterie? Wie sieht deren Lebenszyklus aus?

Dies könnte in einem cloudbasierten Chip abgelegt werden, sofern die Zugriffsrechte klar geregelt sind. Dieses Monitoring-System erlaubt die Erfassung und Nachverfolgung der Batterien während ihres ganzen Lebensweges (achatech et al. 2021). Die Batterien könnten z.B. im Eigentum der OEMs verbleiben und im Rahmen eines Leasing-Konzepts genutzt werden, wie das beispielsweise Renault praktiziert. Sinnvoll könnten im Sinne der Kreislaufwirtschaft auch Flotten-Leasing-Konzepte bis zum Lebensende der Batterien sein.

Die Recyclingfähigkeit der Lithium-Ionen-Batterien muss künftig aber noch stärker als bislang in den Fokus gerückt werden. Diese Batterien könnten dabei zu einer Art *Frontrunner* beim *zirkulären Design* werden. Die Recyclingfähigkeit muss bereits bei der Produktion berücksichtigt werden, wobei auch die Demontierbarkeit sowie die Trennbarkeit der Wertstoffe gleichermaßen gewährleistet sein müssen. Es sind also standardisierte Produktdesigns zu etablieren.

VW hat z.B. schon ein einheitliches Format für Batterien kreiert. Alleine durch den Markt wird sich das aber vermutlich nicht zufriedenstellend entwickeln. Hier besteht daher politischer Handlungsbedarf, den inzwischen vermehrt auch Verbände einfordern, etwa durch die Schaffung von Anreizen bei den Herstellern, damit diese ihre Produkte in Hinblick auf Recyclingfähigkeit hin konzipieren. Ein gutes, nachhaltiges Design bei Batterien in Verbindung mit der Anwendung weiterentwickelter Recyclingtechnologien wäre der richtige Ansatz in Richtung von mehr Kreislaufwirtschaft.

Recycling von Baurohstoffen

Bei Aluminium, Eisen und Kupfer ist das Schließen von Stoffkreisläufen schon weiter gediehen, bei anderen Metallen, Industriemineralen und Baurohstoffen sind dagegen Kreisläufe noch stärker zu schließen. Zwar liegen die Recyclingquoten z.B. beim Abraum im Straßenbau zwischen 90 und 95%, die Substitutionsquote bei den Steine-und-Erden-Rohstoffen liegt aber nur rund 14% (DIW und SST 2019: 48). Technische Normen und nicht ausreichende Mengen an Sekundärmaterialien – alte Straßen werden z.B. aus Kostengründen häufig nicht mehr ausgebagert, sondern neue Beläge einfach drübergelegt – begrenzen die Substitutionsmöglichkeiten.

Insbesondere das hochqualitative Recycling der Baurohstoffe ist noch ausbaubar, wobei es bereits vielversprechende Technologien gibt (z.B. Infrarotverfahren). Die Weiterentwicklung dieser Verfahren sollte vom Land durch eine zielgerichtete Forschungsförderung unterstützt werden.

Recycling von Tonen

Tone werden mit anderen Stoffen gemischt, wobei laufend eine Anpassung an die Markterfordernisse erfolgt. Während Kies und Sand relativ gut recycelt werden können, ist das bei Tonen nicht der Fall, denn sie werden gebrannt und damit unwiederbringlich mit anderen Stoffen verschmolzen.

Es kann somit nur das Produkt als solches, das in der einen oder anderen Weise verarbeitete Tone enthält, recycelt werden, wobei die Sekundärmaterialien dann meist in anderen Bereichen in eher niederwertigeren Anwendungen verwertet werden. Die Recyclingquoten liegen daher nur bei 20-30% und werden auch nicht wesentlich gesteigert werden können. Politischer Handlungsbedarf besteht hier nicht.

Recycling von industriellen Abfällen

Während sämtliche End-of-Life-Produkte früher oder später zu Abfall werden, erscheint der Großteil der industriellen Produktionsabfälle erst gar nicht in der Abfallstatistik, sondern fließt direkt wieder in den industriellen Stoffkreislauf zurück. Diese Mengen werden aber auch nicht als Sekundärrohstoffe erfasst. Auf der Unternehmensebene ist somit schon in einem nicht unerheblichen Umfang eine Kreislaufwirtschaft realisiert worden, ohne dass diese statistisch erfasst wird (*Black Box*).

Die Unternehmen haben ein ökonomisches Eigeninteresse daran, industrielle Abfälle, die im Zuge der Güterproduktion anfallen, wiederzuverwerten. Entsprechend geringer ist Bedarf für Primärmaterialien. Das Recyclingpotenzial in Bezug auf die Produktionsabfälle, die unternehmensintern verwertet werden, dürfte somit weitgehend ausgeschöpft sein. Hieraus resultiert somit auch kein politischer Handlungsbedarf.

Ein Teil dieser industriellen Produktionsabfälle lässt sich allerdings nicht mehr industriell verwerten und verlässt daher die Unternehmen, in denen diese Abfälle anfallen. Dabei handelt es sich um wertstoff-, teilweise aber auch schadstoffhaltige Schrotte, Schlacken, Stäube, Aschen oder Schlämme. Diese Abfälle müssen anderweitig verwertet bzw. entsorgt werden.

Sowohl in Hinsicht auf die Erfassung als auch die Aufbereitung dieser Abfälle besteht noch Nachholbedarf bei der Verfügbarmachung der darin enthaltenen Sekundärrohstoffe, was auch einen erheblichen politischen Handlungsbedarf impliziert, wobei es hier bislang noch keine wirklichen technologischen und regulatorischen Lösungen gibt.

Was von den industriellen Abfällen nicht von der Recyclingwirtschaft aufgenommen und verwertet werden kann, wird zum Teil nach Asien exportiert. Speziell China nimmt diese Abfälle inzwischen aber nur noch auf, wenn sie bestimmte Qualitätsstandards erfüllen. Beispielsweise hat das die zur Folge, dass China nur die Schrotte importiert, die die höchste Werthaltigkeit aufweisen, während deutsche Recyclingunternehmen wie z.B. Aurubis oder Umicore dann Schrotte geringerer Qualitäten bekommen.

Urban Mining

Unter *Urban Mining* versteht man im engeren Sinne die Rückgewinnung von Rohstoffen aus kartierten Deponien und Abraumhalden. Im weiteren Sinne wird darunter die Gewinnung von Sekundärrohstoffen aus anthropogenen, also durch menschliche Aktivitäten entstandene Lagerstätten verstanden. Vor dem Hintergrund der angespannten Lage auf den Rohstoffmärkten ist *Urban Mining* ein viel diskutiertes Thema, das sich auch intensiver Forschungsaktivitäten erfreut.

Trotz der Potenziale, die Urban Mining in Bezug auf Deponien und Halden besitzt, ist deren Ausschöpfung nicht unproblematisch. Es könnten zwar u.a. Aluminium und Eisen zurückgewonnen werden, es gibt aber auch Gefahrenpotenziale (Industriegase, Schwermetallbelastung usw.) und die Kosten wären hoch. Zu bedenken ist zudem, dass die Abfälle auf Deponien oder Halden nicht vorsortiert sind und hier entsorgte Produkte nicht unter Nachhaltigkeitsgesichtspunkten hergestellt wurden (*zirkuläres Design*). Daher erscheint die Rückgewinnung von Rohstoffen aus diesen Quellen eher fraglich.

Infrage kommt *Urban Mining* eher in einem etwas weiteren Sinne. So gibt es z.B. Überlegungen, dass Kiesvorkommen in bereits stillgelegten Gruben nachausgekiest werden, wobei die Wirtschaftlichkeit noch durch Forschungsvorhaben ermittelt werden muss. Geplant ist, so weit in den Boden herunterzugehen, bis der Kies komplett ausgekiest ist, was in der Regel auch wirtschaftlich darstellbar sein dürfte. Kiesvorkommen wurden in der Vergangenheit wegen steigender Förderkosten nicht immer voll ausgekiest, stattdessen wurden kostengünstigere neu erschlossene Vorkommen abgebaut. Aufgrund der geänderten Ausgangslage in Bezug auf die Zulassung neuer Rohstoffvorhaben ist das inzwischen aber nicht mehr wirtschaftlich und schon gar nicht nachhaltig.

Andere Bereiche, die im weiteren Sinne als *Urban Mining* erachtet werden, sind dagegen schon längst gängige Praxis. Dazu gehört die Wiederaufbereitung von Infrastrukturabfällen, Gewerbeabfällen, Schrotten oder Verpackungen. Als „Urbane Mine“ wird dabei ein Konstrukt verstanden, dass vier Bereiche umfasst: (1) Produktion (vornehmlich mit Sekundärrohstoffen als Input), (2) Konsum (von kurz- und langlebigen Gütern mit unterschiedlich langer Rohstoffbindung), (3) Entsorgung (als Müll bzw. Abfall verschiedenster Fraktionen) und (4) Aufbereitung zu Sekundärrohstoffen als Output, der dann wieder in einen neuen Produktionsprozess eingeht. Dies schließt dann auch die Kreierung recyclingfreundlicher Produktdesigns, die Etablierung moderner Sammel- und Rücknahmesysteme sowie eine qualitativ hochwertige Rohstoffrückgewinnung ein.

Da diese Bereiche in anderen Kontexten betrachtet werden, wird an dieser Stelle nur auf das *Urban Mining* im engeren Sinne abgestellt. Inwieweit das Land NRW in diesem Bereich eine verstärkte Forschungsförderung erwägen sollte, müsste von den weiteren Entwicklungen abhängig gemacht werden. Falls sich hier tatsächlich interessante Anwendungsbereiche ergeben sollten, wäre es dann auch sinnvoll, dies durch die Förderung entsprechender FuE-Projekte zu flankieren.

Bepreisung von Primärrohstoffen oder Subventionierung von Sekundärrohstoffen

Eine Steuer auf Primär- oder eine Subventionierung von Sekundärrohstoffen (z.B. in Form einer Recycling-Umlage) führt zu einer Internalisierung von Nachhaltigkeitsaspekten und würde Sekundärrohstoffen gegenüber Primärrohstoffen einen Wettbewerbsvorteil verschaffen. Diese Internalisierung externer Effekte könnte somit die Entwicklung von Recyclingtechnologien und damit auch des Recyclings beflügeln. Soweit Sekundärrohstoffe durch die damit verbundene Substituierung von Primärrohstoffen zu einer Verminderung des Einsatzes fossiler Energierohstoffe führt, könnten sie auch von steigenden Energiepreisen bzw. einer CO₂-Steuer profitieren.

Die Preisdifferenz zwischen Primär- und Sekundärrohstoffen wird sich aufgrund der steigenden Qualität der Sekundärrohstoffe und den zunehmenden Nachhaltigkeitsanforderungen auf Dauer aber auch ohne eine Steuer oder Subventionierung angleichen. Zur Sicherstellung der Einhaltung von Kennzeichnungspflichten, Qualitätsanforderungen und Spezifikationen auf den Sekundärrohstoffmärkten sollte die Politik bei Bedarf für entsprechende Regulierungen sorgen.

Teilnahme an Dialogplattform Recyclingrohstoffe

Im Auftrag des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie (BMWi) wird von der Deutschen Rohstoffagentur (DERA) eine Dialogplattform Recyclingrohstoffe aufgebaut. Sie soll dazu beitragen, dass Sekundärrohstoffe für die Versorgung der deutschen Wirtschaft mit mineralischen Rohstoffen eine größere Bedeutung bekommen. Hierzu sollen u.a. Handlungsoptionen zur Stärkung des Metallrecyclings und des Recyclings von Industriemineralen herausgearbeitet werden. An der Plattform können sich sowohl Wissenschaft und Industrie als auch Politik gleichermaßen beteiligen. NRW sollte sich hieran mit ausgewiesenen Vertreterinnen und Vertretern der im Rohstoffbereich relevanten Akteure aktiv beteiligen.

Öffentliche FuE-Förderung zur Steigerung der Ressourceneffizienz

Das wichtigste öffentliche Förderprogramm zur Steigerung der Ressourceneffizienz ist das Deutsche Ressourceneffizienzprogramm (ProgRess). Es umfasst die Ziele und Maßnahmen

zur Steigerung der Ressourceneffizienz und der Entkopplung des Wirtschaftswachstums vom Ressourceneinsatz (Dematerialisierung). Es beinhaltet ressortübergreifend alle Maßnahmen der Bundesregierung in den Bereichen Rohstoff- bzw. Materialeffizienz, Recycling und Substitution.

Vorrangig wird dabei auf Information und Beratung, Forschung und Entwicklung sowie ökonomische Anreize für Unternehmen etwa zur Verlängerung der Produktlebenszeiten und der Etablierung recyclingfähigerer Produktdesigns abgestellt, um dadurch die Ressourceneffizienz zu erhöhen und Stoffkreisläufe unter Berücksichtigung industriepolitischer Belange zu schließen. Ist am Ende des Lebensweges eines Produktes keine ökonomisch und ökologisch sinnvolle Nutzung mehr möglich, sollen darin enthaltene Rohstoffe durch Recycling zurückgewonnen und im Sinne der Kreislaufwirtschaft wieder in den Stoffkreislauf zurückgeführt werden. Zudem werden Projekte gefördert, mit denen mehr Bewusstsein für Ressourceneffizienz und Rohstoffrecycling geschaffen wird.

Ansatzpunkte für die Erhöhung der Ressourceneffizienz gibt es dabei auf allen Ebenen: bei der heimischen Rohstoffförderung, beim Rohstofftransport, in der Grundstoff- und Güterproduktion (Reduzierung des Materialeinsatzes, Materialsubstitution, *zirkuläres Design*), bei der Güternutzung (Konsum), bei der Entsorgung (Sammlung und Sortierung) sowie beim Recycling (Recyclingtechnologien und -kapazitäten). NRW sollte alle Förderberechtigten im Land dazu animieren, sich an dem Programm ProgRess zu beteiligen. Gleiches gilt auch hinsichtlich der Beteiligung an der FuE-Förderung durch das EU-Forschungsrahmenprogramm, soweit es Themen im Zusammenhang mit Recycling, Kreislaufwirtschaft oder Steigerung der Ressourceneffizienz adressiert.

Ergänzend sollten diese Fördermaßnahmen durch das Auflegen von Landesprogrammen bzw. eine verschiedene Bereiche adressierende FuE-Projektförderung flankiert werden. Geprüft werden sollte ferner, inwieweit ein Teil der Strukturhilfen für das Rheinische Revier im Zusammenhang mit dem Ausstieg aus der Braunkohleverstromung künftig in die Forschungsförderstrategie Ressourceneffizienz des Landes integriert werden kann. Sollte sich NRW dazu entschließen, im hier beschriebenen Sinne eine Förderstrategie in größerem Stil zu konzipieren, könnte der Standort mittelfristig zu einem der führenden europäischen Recyclingcluster aufsteigen.

5.6 Maßnahmen mit Leuchtturmcharakter im Rohstoffbereich

Die folgenden Maßnahmen mit Leuchtturmcharakter sind geeignet, die verschiedenen Themen im Rohstoffbereich sichtbar zu machen und damit stärker in den Fokus zu rücken. Hierdurch können sich zum einen die Stakeholder wie auch die erweiterte Öffentlichkeit besser über rohstoffspezifische Themen informieren, zum anderen werden auf diesem Wege Impulse für neue oder die Vertiefung bestehender Forschungsthemen gesetzt und diese dann auch durch die Entfaltung entsprechender Forschungstätigkeiten untersucht. Hierin sollten bereits laufende Aktivitäten mit einfließen, die dann aber stärker gebündelt und durch neue Ansätze bzw. Maßnahmen ergänzt werden.

Einrichtung eines Rohstoff-Informationstools

Die Einrichtung eines solchen Tools würde die Akteure im Rohstoffbereich u.a. darüber informieren, inwieweit die Rohstoffbeschaffung mit Risiken etwa in Bezug auf die Versorgungssicherheit oder Preisentwicklung verbunden sein könnte. Es sollte die Informationsangebote, die es im Bereich der mineralischen Rohstoffe für Deutschland bereits gibt, wie etwa von der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR 2021a), der Deutschen Rohstoffagentur (DERA 2021a) oder dem Informationsportal der deutschen Initiative für Transparenz im rohstoffgewinnenden Sektor (EITI 2021), durch eine entsprechende Verlinkung einbeziehen und um Rohstoffthemen ergänzen, die für NRW bedeutsam sind.

Auch Plattformen wie das Netzwerk Ressourceneffizienz oder das VDI Zentrum Ressourceneffizienz sollte den Akteuren in NRW durch eine Verlinkung zugänglich gemacht werden. Während die Einrichtung eines derartigen Tools mit einem relativ geringen Aufwand verbunden wäre, könnte daran gemessen die Außenwirkung, wenn das Tool entsprechend promotet würde, ziemlich groß sein.

Gründung eines Think Tanks für Rohstoffeffizienz und -politik

Die Gründung eines *Think Tank* für Rohstoffeffizienz und -politik wäre eine innovative Möglichkeit für NRW, die verschiedenen Rohstoffthemen im Land weiter voranzubringen. Vorbild könnte der vom Land Baden-Württemberg gemeinsam mit Wissenschaft und Wirtschaft gegründete *Think Tank* „Industrielle Ressourcenstrategien“ sein (Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg 2019: 8ff.).

Er soll Politik und Wirtschaft auf einer wissenschaftlichen Basis in Rohstoff- und Ressourceneffizienzfragen beraten sowie praktische und innovative Lösungen, Konzepte und Handlungsempfehlungen für den Umgang mit Rohstoffen entwickeln. Die Gründung dieses deutschlandweit bislang einmaligen *Think Tank* geht zurück auf eine Empfehlung aus dem Jahr 2014 zur Gründung eines *Think Tanks* „Industrie- und Ressourcenpolitik“ (UMSICHT und iswa 2014: 109f.).

Die Etablierung einer derartigen Denkfabrik in NRW könnte gleich mehrere Ziele adressieren:

- Verbreiterung und verstärkte Sichtbarmachung der rohstoffpolitisch relevanten Wissens- und Datenbasis,
- Weiterentwicklung rohstoffspezifischer Indikatoren,
- Steigerung der gesellschaftlichen Akzeptanz des heimischen Primärrohstoffabbaus durch die Analyse der Möglichkeiten einer nachhaltigen und ressourceneffizienten Primärrohstoffgewinnung und -versorgung,
- Erforschung der Verbesserungspotenziale in Bezug auf die Steigerung der Produktdesigns sowie der Recycling- und Substitutionsraten,
- Reduzierung des spezifischen Rohstoffverbrauchs im Rahmen branchenspezifischer Wertschöpfungsketten,
- Möglichkeiten zur Eindämmung dissipativer Verluste etwa durch Produktions- und Recyclingverluste, Korrosion, Deponierung oder (illegale) Exporte,
- Förderung von Innovationen, Technologie- und Wissenstransfer im Primär- und Sekundärrohstoffbereich,
- Abbildung von branchenspezifischen Stoffstromanalysen für besonders risikobehaftete Rohstoffe,
- Einbindung der Industrie und der Industrieverbände sowie der in NRW bestehenden Forschungseinrichtungen,
- Verknüpfung der Rohstoff-, Industrie und Energiepolitik unter Berücksichtigung des Strukturwandels, u.a. mit einem Fokus auf die Grundstoffindustrie in NRW,
- Empfehlung von rohstoffpolitischen Maßnahmen in allen rohstoffrelevanten Bereichen.

Die Ausrichtung der Denkfabrik sollte sich nicht alleine am Bedarf und der Verwendung der Rohstoffe orientieren, sondern auch an der Versorgung mit und der Verfügbarkeit von Rohstoffen einschließlich der heimischen Rohstoffförderung. Dabei sollte eine Roadmap erarbeitet, verfolgt und förderpolitisch flankiert werden, in deren Rahmen aufgezeigt und untersucht wird, welche Ansätze für neue Technologien, Produkte, Prozesse und Dienstleistungen im Rohstoffbereich umgesetzt werden könnten. Den Hochschulen und Forschungseinrichtungen kommt dabei als Bindeglied große Bedeutung zu.

Der *Think Tank* könnte beispielsweise an der RWTH Aachen angesiedelt werden, sollte aber unabhängig und interdisziplinär agieren. Die Denkfabrik sollte gemeinsam vom Land NRW und Industrieverbänden finanziert werden. Ein Beirat mit Vertreterinnen und Vertretern von Industrie und Politik sowie ein

Lenkungskreis aus international renommierten Wissenschaftlern könnten die politisch-wissenschaftliche Ausrichtung des *Think Tanks* steuern.

Sinnvoll wäre zudem eine auf Stakeholder, Scientific Community, Unternehmen und die Öffentlichkeit ausgerichtete Publikationsreihe, die von der Denkfabrik herausgegeben wird. Zudem könnten neuartige Formate genutzt werden, um eine höhere Partizipation der Gesellschaft an dem Thema hervorzuheben. In Hinblick auf die Information und den Austausch mit Schulen und der gesamten Bevölkerung könnte beispielsweise eine Zusammenarbeit mit Museen etabliert werden (wie etwa mit dem Energeticon in Alsdorf).

Mit Hilfe eines derartig konzipierten *Think Tanks* könnten in NRW Wissenschaft, Industrie und Politik gemeinsam rohstoffspezifische Themen aufgreifen und branchenübergreifend nach technologischen Lösungen suchen, um die Ergebnisse möglichst öffentlichkeitswirksam nach außen zu tragen und in die Gesellschaft hinein zu kommunizieren.

Etablierung von Forschungsfabriken, Demonstrationen, Exzellenzzentren und Pilotanlagen

Die Einrichtung von Forschungsfabriken in Verbindung mit einem Demonstrationszentrum stellt eine gute Möglichkeit dar, Unternehmen und Forschungseinrichtungen zusammenzuführen, damit diese in wichtigen Rohstofffeldern technologische Entwicklungen anstoßen und gemeinsam entwickeln können. In NRW sollte beispielsweise die vom BMBF geförderte Batterieforschungsfabrik, die in Münster gebaut wird, mit dem entsprechenden Demonstrationszentrum verbunden werden, dessen konzeptionelle Entwicklung sich ebenfalls in einem bereits fortgeschrittenen Stadium befindet.

Wissenschaft und Industrie bekommen hier die Möglichkeit, das Batterierecycling entlang einer kompletten Recyclingroute zu erproben und die Effizienz des Batterierecyclings substantiell zu erhöhen. Dies könnte dann Vorbildcharakter für ähnlich ausgerichtete Aktivitäten in anderen rohstoffspezifischen Bereichen haben, wie z.B. dem Recycling von Elektroaltgeräten oder Altautos, aber auch für neue Technologien bei der primären Rohstoffgewinnung. Letzteres betreffend ist als Beispiel das Reallabor Nivelstein erwähnenswert.

Nicht mehr in der Konzeptphase, sondern bereits am Start ist das Exzellenzzentrum Kunststoffrecycling, an dem sich u.a. der VCI NRW und kunststoffland NRW beteiligen. Die Initiierung weiterer Exzellenzzentren in rohstoffrelevanten Themenbereichen sollte erwogen werden. Weiterhin wäre auch eine verstärkte Förderung von Pilotstudien und Pilotanlagen überlegenswert, da sich vieles, was gerade im Bereich der Entwicklung von Recyclingtechnologien in der Pipeline ist, noch im Laborstadium befindet.

Einbindung von Rohstoffthemen in die Lehrpläne allgemeinbildender Schulen

Vor dem Hintergrund der hohen Relevanz, die künftig der Gewinnung und dem Einsatz von Primär- und Sekundärrohstoffen sowie der Umsetzung der Kreislaufwirtschaft zukommen wird, könnte NRW bereits in den Schulen etwas tun, um diese Themen in den Köpfen der Schülerinnen und Schüler zu verankern. Sie sollten daher in stärkerem Maße zum Bestandteil der Lehrpläne an allgemeinbildenden Schulen werden.

Auf diesem Wege könnten Kinder und Jugendliche für Rohstoffthemen sensibilisiert werden, was auf Dauer eine größere gesellschaftliche Akzeptanz und Bewusstseinsbildung für diese existenziellen Fragen mit sich brächte. Hierdurch würde das Bildungssystem zukunftsfähiger gemacht, indem Schüler etwa lernen, welche Rohstoffe in Produkten wie z.B. Handys oder Computern enthalten sind.

Installierung eines Beirats für Ressourceneffizienz und Rohstoffpolitik

Die Deutsche Rohstoffagentur (DERA) berät die Bundesregierung bei rohstoffwirtschaftlichen Themen wie der Durchführung von Förderprogrammen und unterstützt die zuständigen Ministerien beim Aufbau rohstoffwirtschaftlicher Kooperationen mit anderen Ländern. Bei der Konzipierung der vorgeschlagenen Förderung von Maßnahmen zur Steigerung der Ressourceneffizienz wie auch den an anderen Stellen vorgeschlagenen FuE-Fördermaßnahmen sollte sich auch das Land NRW eine eingehende externe Expertise einholen.

Zudem wäre es sinnvoll, einen Beirat für Ressourceneffizienz und Rohstoffpolitik mit Vertreterinnen und Vertretern aus Wissenschaft und Industrie zu installieren. Dieser sollte die Aufgabe wahrnehmen, die NRW-Landesregierung in ressourcen- und rohstoffrelevanten Bereichen zu beraten sowie eigenständige Vorschläge zur Politikgestaltung zu unterbreiten.

Verleihung eines Rohstoffeffizienz-Preises

Der Deutsche Rohstoffeffizienz-Preis der Deutschen Rohstoffagentur (DERA) ging im Jahr 2020 u.a. an das *Institute for Advanced Mining Technologies* (AMT) und das Lehr- und Forschungsgebiet Aufbereitung mineralischer Rohstoffe (AMR) der RWTH Aachen. Das zeigt, dass das Thema Rohstoffeffizienz auch im Bereich der primären Rohstoffgewinnung relevant ist. Einen Rohstoffeffizienz-Preis vergibt im Übrigen auch die Effizienz-Agentur NRW (efa) mit dem Effizienz-Preis NRW. Der Urban Mining Award zeichnet wiederum Preisträger aus, die sich in Bezug auf die Förderung und Umsetzung der Kreislaufwirtschaft verdient gemacht haben.

Demnach gibt es schon einige Rohstoffeffizienz-Preise. Dennoch wäre es überlegenswert, auch einen entsprechenden Preis der NRW-Landesregierung auszuloben, etwa vergleichbar mit der jährlichen Verleihung des Innovationspreises.

5.7 Fazit und Ausblick

Notwendigkeit einer effektiven Rohstoffpolitik

Die zuvor gegebenen Handlungsempfehlungen betreffen Rohstoffimporte, Primärrohstoffe aus heimischen Quellen und Sekundärrohstoffe gleichermaßen. Die Empfehlungen sollen dazu beitragen, den Rohstoffverbrauch weiter zu reduzieren, dessen Einsatz noch effizienter zu gestalten, die Bedeutung des Recyclings zu erhöhen, eine noch nachhaltigere Kreislaufwirtschaft zu etablieren und dadurch auch die Abhängigkeit von Rohstoffimporten zu verringern.

In den zurückliegenden Jahren haben sich in NRW wie auch auf der Bundes- und EU-Ebene bereits vielfältige Aktivitäten im Bereich der mineralischen Rohstoffe entfaltet. Vor dem Hintergrund der zunehmenden Problemlagen auf den verschiedenen Ebenen der rohstoffrelevanten Themen kann bzw. muss künftig aber noch mehr erfolgen.

Die Politik wird hier insbesondere die Aufgabe zufallen, die adäquaten Rahmenbedingungen zu setzen, gesetzliche Regelungen zu verabschieden und eine effektive FuE-Förderung vorzunehmen. Darüber hinaus kann die Politik viel dazu beitragen, die Themen Rohstoffversorgung, Rohstoffeffizienz und Kreislaufwirtschaft durch den Anstoß eines Wissenstransfers, die Verbreitung von Informationen und den Einsatz effektiver Kommunikationskanäle stärker in den Fokus zu rücken.

Dies setzt aber sowohl im Bund wie auch im Land NRW eine klare und effektive Aufgabenteilung innerhalb der Ministerialbürokratie sowie den nachgelagerten Bundes- und Landesanstalten voraus. Eine effektive Rohstoffpolitik ist auch deshalb so wichtig, da der Erhalt von Industrien und eine erfolgreiche Etablierung von Zukunftstechnologien maßgeblich von einer adäquaten Rohstoffversorgung abhängt.

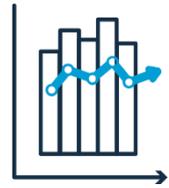
NRW in 15 Jahren

NRW sollte versuchen, sich in den kommenden 15 Jahren in allen rohstoffrelevanten Bereichen weiterzuentwickeln:

- Die weltweit aufgestellten Lieferketten des Rohstoffbezugs sollten bis dahin stabilisiert worden und Importe von Lithium, Kobalt oder Seltenerdenmetallen aus einer nicht nachhaltigen Förderung nicht mehr notwendig sein.

- Rohstoffhandelsunternehmen wie Glencore oder Rio Tinto bleiben führend, NRW-Unternehmen wie Aurubis und Remondis dürften aber noch bedeutender werden.
- Bis Mitte der 2030er Jahre sollte die Rohstoffintensität in NRW in Bezug auf den Primärrohstoffeinsatz weiter sinken und die Rohstoffeffizienz deutlich gestiegen sein.
- Die Transformation der NRW-Grundstoffindustrien wird sich in Hinblick auf die Umstellung der organischen Grundstoffchemie von Naphtha und der Stahlindustrie von Koksrohstoffen auf möglichst grünen Wasserstoff weiterentwickelt haben.
- Die NRW-Schlüsselindustrien werden viele Zukunftstechnologien etabliert haben, wie etwa die Automobilindustrie, die Elektronik- und Elektroindustrie sowie der Maschinenbau, beispielsweise in Bezug auf die Elektromobilität, die Energiewende sowie die Digitalisierung, Automatisierung und Dekarbonisierung der Wirtschaft, auch wenn damit ein vorübergehender Anstieg des Bedarfs nach risikobehafteten Rohstoffen verbunden sein dürfte.
- Die Problematik risikobehafteter Rohstoffe sollte bis 2035 aber spürbar abnehmen, da Importe dann zunehmend durch eine steigende Rohstoffeffizienz und einen höheren Sekundärrohstoffeinsatz zurückgedrängt werden.
- Bis 2035 sollten signifikante Veränderungen in Bezug auf die stärkere Etablierung der Kreislaufwirtschaft erfolgen. Bis dahin könnte NRW auch mit Hilfe der öffentlichen Forschungsförderung zu einem der führenden europäischen Recycling-Cluster geworden sein.
- NRW sollte dabei in der universitären und außeruniversitären Forschung, aber auch im Bereich der Unternehmensforschung versuchen, in möglichst vielen rohstoffrelevanten Bereichen eine führende Rolle einzunehmen.
- Die gesamte Recyclingkette wird dann alle ihre Glieder betreffend große Fortschritte gemacht haben, von der Recyclingfähigkeit und der längeren Lebenszeit der Produkte, über die Steigerung des Sekundärmaterials durch höhere Sammelquoten und geringere Schrottexporte, bis hin zur Verbesserung der Recyclingtechnologien und der substanziellen Ausweitung der Recyclingkapazitäten.

6. Fact Sheets: Kurzfassungen zentraler Befunde



6.1 Fact Sheet: Entwicklung der Preise metallischer Rohstoffe

Das Wichtigste in Kürze

- ➔ Die Preise metallischer Rohstoffe begannen während der Corona-Pandemie deutlich zu steigen.
- ➔ Dafür gibt es Gründe, sodass die Entwicklung noch im Rahmen der Erwartungen ist, weshalb es auch keine Indikation für einen beginnenden neuen Superzyklus gibt.
- ➔ Für die NRW-Industrie sind die steigenden Metallpreise eine Belastung, die die wirtschaftliche Erholung und technologische Transformation beeinflussen könnten.
- ➔ Langfristig betrachtet erwiesen sich die Metallpreise bislang real aber immer als relativ stabil.

Ursachen des Preisanstiegs seit Mitte 2020

Seit Mitte des Jahres 2020 sind die Preise metallischer Rohstoffe deutlich gestiegen (siehe die Entwicklung des Industriemetallpreisindex). Zunächst wurde dies vornehmlich von den Massenrohstoffen Aluminium, Eisen und Kupfer getragen, danach sind aber auch die Preise anderer Metalle deutlich gestiegen, wie z.B. die von Nickel, Zink oder Zinn.

Der Zeitpunkt, zu dem die Preise metallischer Rohstoffe zu steigen begannen, mag auf den ersten Blick verwundern, wie auch das Ausmaß des Anstiegs. Bei näherem Hinsehen kann die Entwicklung aber nicht wirklich überraschen. Hierfür gibt es gleich mehrere plausible Gründe:

(1) Zunächst einmal hatten die Rohstoffpreise zuvor über etwa ein Jahrzehnt hinweg eine Talsohle durchschritten, was ein gewisses Aufholpotenzial impliziert.

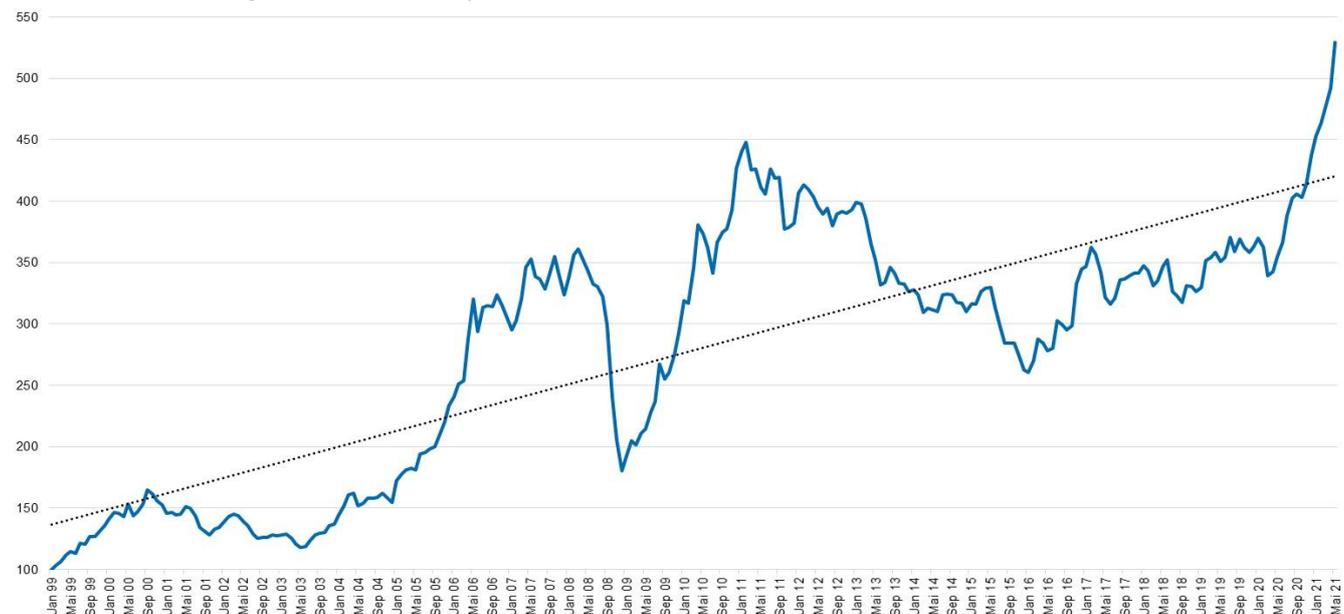
(2) Angebotsseitig mussten im Zuge der Corona-Krise viele Bergbauunternehmen ihre Förderung vorübergehend aussetzen, was zu Produktionsausfällen führte, zudem wurden die Lieferketten unterbrochen, was auch steigende Transportkosten mit sich brachte.

(3) Nachfrageseitig ist die dynamische Erholung der Weltwirtschaft mit ansteigendem Rohstoffbedarf verbunden.

(4) Erwartungen einer künftig weiter steigenden Rohstoffnachfrage entfalten zusätzliche Preiswirkungen. Die Transformation der Wirtschaft, die sich schon seit einiger Zeit vollzieht, hat sich durch die Corona-Krise nämlich weiter beschleunigt. Im Zusammenhang mit technologischen Trends wie der Digitalisierung, Automatisierung und Dekarbonisierung der Wirtschaft sowie der Elektrifizierung der Antriebe und der Umstellung der Energiesysteme ist eine Etablierung verschiedener Zukunftstechnologien verbunden, die mit einer zusätzlichen Rohstoffnachfrage verbunden sein wird.

(5) Durch Interventionen seitens der Notenbanken und der Politik, um durch niedrige Zinsen und Finanzhilfen die wirtschaftliche Dynamik wieder anzustoßen, werden Inflationserwartungen hervorgerufen. Darauf reagieren Rohstoffmärkte meist sensibel und als Frühindikatoren auch zeitig, wobei sie dann auch ihrerseits inflationsverstärkend wirken.

Abb. 6.1.1: Entwicklung des Industriemetallpreisindex



Monatswerte; Januar 1999=100

Eigene Darstellung nach Angaben des Instituts der Deutschen Wirtschaft Köln.

Metallpreise unterliegen zyklischen Schwankungen, langfristig sind sie real aber relativ stabil

Es sind sowohl angebots- und nachfrageseitige als auch gesamtwirtschaftliche Faktoren, die zu dieser Entwicklung beitragen. Wie sich die Rohstoffmärkte vor diesem Hintergrund im weiteren Jahresverlauf und darüber hinaus entwickeln werden, ob wir uns beispielsweise am Beginn eines neuen Superzyklus oder nur in einer temporären Aufwärtsentwicklung befinden, ist nicht mit Bestimmtheit zu sagen.

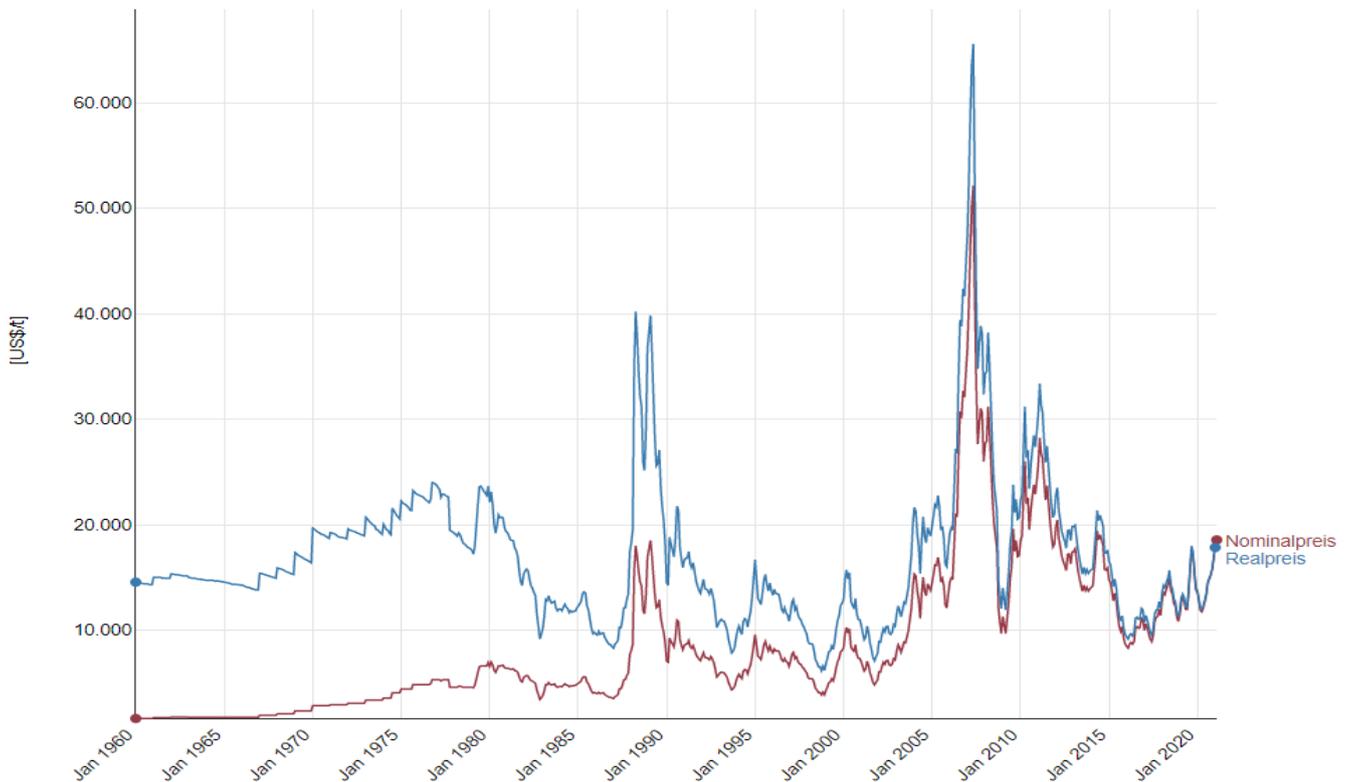
Bis Mitte des Jahres 2021 ist die Entwicklung aber noch als relativ normal zu bezeichnen. Rechnerisch bedeutet das jetzige Preisniveau, dass die Metallpreise seit dem Zwischenhoch im Februar 2011 im Durchschnitt um weniger als 2% p.a. gestiegen sind. Die Trendlinie in der Abbildung des Industriemetallpreisindex verzeichnet zwar einen Anstieg von nominal 5% p.a., bezogen auf das Preishoch Anfang der 1980er-Jahre beträgt der nominale Anstieg der Rohstoffpreise aber nur etwa 1,5% p.a., real sind die Preise also nicht gestiegen.

Die Preisschwankungen folgen dabei bestimmten Mustern. In der Ökonomie wird dies meist mit dem Schweinezyklus erklärt. Da zwischen der Ferkelerzeugung und Schlacht-

reife der Schweine 15 Monate vergehen, führt eine Erhöhung des Schweinepreises erst nach eineinhalb Jahren zu einer Angebotserhöhung. Das gestiegene Angebot senkt dann den Preis und die Aufzucht wird wieder reduziert. Schließlich kommt es erneut zu Preissteigerungen und ein neuer Zyklus beginnt. Die Preisbewegungen von Rohstoffen verlaufen meist in solchen Zyklen. Eine Reaktivierung stillgelegter oder das Auffahren neuer Minen ist langwierig und kapitalintensiv. Daher setzen Bergbauinvestitionen voraus, dass Preissteigerungen auf Rohstoffmärkten nachhaltig sind, sodass eine Amortisation des Kapitaleinsatzes angenommen werden kann und somit das Angebot erhöht wird, bevor das erhöhte Angebot dann die Preise wieder sinken lässt und Minen teilweise wieder stillgelegt werden.

Wie sich das langfristig auf die Rohstoffpreise auswirken kann, zeigt stellvertretend die Entwicklung der Nickelpreise. Der Nickelpreis stieg Mitte der 2000er-Jahre aufgrund von Exportbeschränkungen von Indonesien deutlich an. Dabei kam es zeitweise zur Vervielfachung der Preise. Über den Zeitraum von sechs Jahrzehnten hinweg zeigt sich bei Nickel aber – wie auch bei vielen anderen Metallen und Nichtmetallen –, dass sich der reale Preis wieder in der Nähe des Ausgangsniveaus bzw. langfristigen Durchschnitts einpendelt.

Abb. 6.1.2: Entwicklung der nominalen und realen Nickelpreise seit Anfang der 1960er-Jahre



Rohstoffinformationssystem ROSYS der Deutschen Rohstoffagentur (DERA) in der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR).

Auswirkungen auf die NRW-Industrie

Die steigenden Metallpreise sind kurzfristig eine Belastung für die NRW-Industrie. Der preis- und FuE-bedingte technische Fortschritt wird aber zu einer Erhöhung der Rohstoffeffizienz, einer Verbesserung der Recyclingtechnologien und zu einem

steigenden Sekundärrohstoffeinsatz führen. Gerade in Bezug auf das Recycling weist NRW große Stärken auf, die genutzt werden sollten. Dies wird dann zu einer Eindämmung der Nachfrage nach Primärrohstoffen und zusammen mit dem steigenden globalen Primärrohstoffangebot zu wieder sinkenden Metallpreisen beitragen.



6.2 Fact Sheet: Zusammenhang zwischen Wirtschaftswachstum und Rohstoffeinsatz

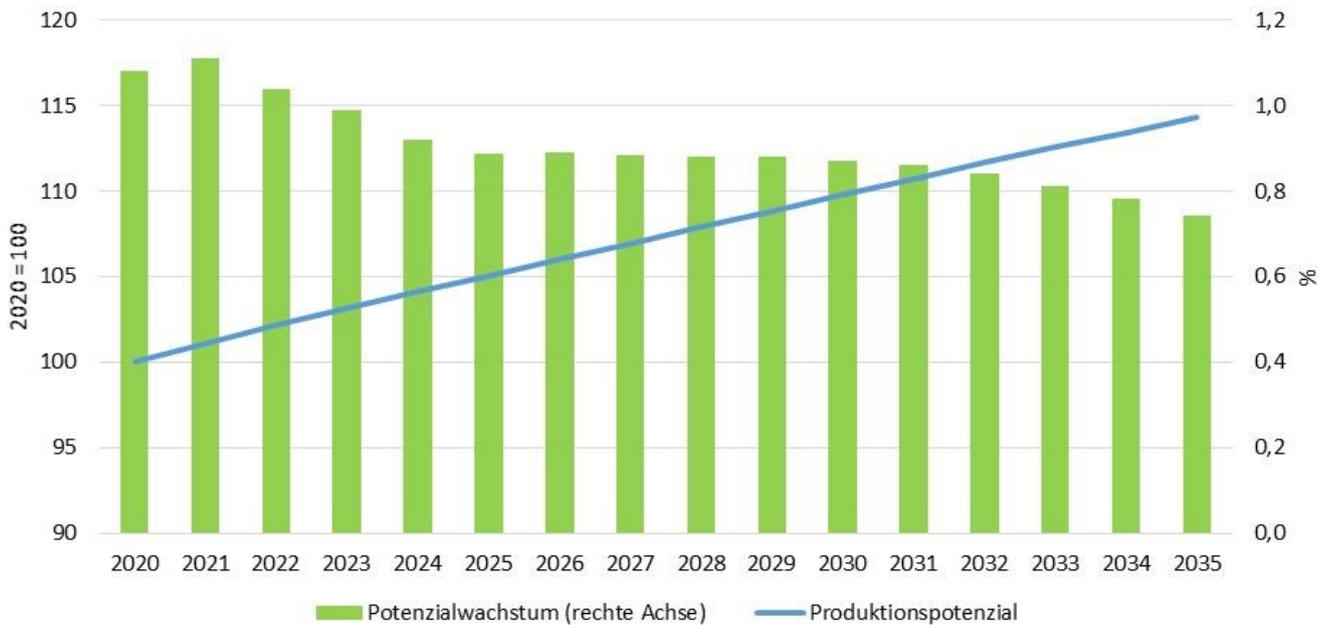
Das Wichtigste in Kürze

- ➔ Das Wachstum der NRW-Wirtschaft lag im zurückliegenden Vierteljahrhundert bei 1,1% p.a., bis 2035 dürfte es sich demographisch bedingt auf 0,9% p.a. abschwächen.
- ➔ Voraussichtlich wird die NRW-Industrie bis Mitte der 2030er-Jahre bestenfalls stagnieren, was sich dämpfend auf den Primärrohstoffeinsatz auswirken dürfte.
- ➔ Eine tendenzielle Entkopplung von Wirtschaftswachstum und Rohstoffeinsatz war schon in der Vergangenheit zu beobachten, dies wird sich wohl auch künftig fortsetzen.
- ➔ Dazu beitragen wird eine Steigerung der Rohstoffeffizienz und die stärkere Etablierung der Kreislaufwirtschaft, verbunden mit einem steigenden Sekundärrohstoffeinsatz.

Entwicklung der NRW-Wirtschaft bis 2035

Das reale Bruttoinlandsprodukt ist sowohl im Bundesdurchschnitt als auch in NRW seit Mitte der 1990er-Jahre relativ kontinuierlich gestiegen. Während es im Bundesdurchschnitt seit 1994 um 41% stieg, waren es in NRW knapp 30%. Dies entspricht für Deutschland einer jahresdurchschnittlichen Wachstumsrate von 1,4%, in NRW lag sie dagegen bei nur 1,1%. Der Projektion des RWI zufolge wird das Produktionspotenzial in NRW im Zeitraum von 2019 bis 2035 mit durchschnittlich 0,9% p.a. wachsen. Aufgrund des demografisch bedingt zurückgehenden Arbeitsvolumens dürfte daher das Wachstum des Produktionspotenzials im Projektionszeitraum etwas schwächer ausfallen als im Durchschnitt der zurückliegenden Jahrzehnte.

Abb. 6.2.1: Projektion der Entwicklung des Produktionspotenzials in NRW



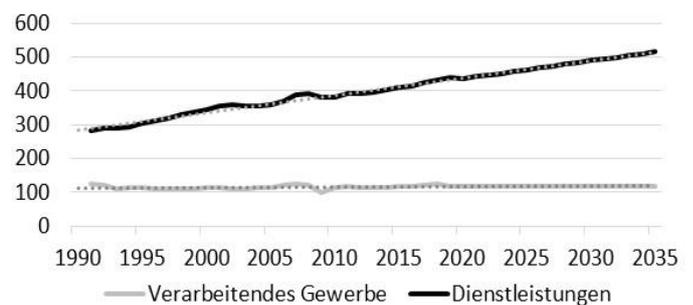
	Kapitalstock	Arbeitsvolumen	technischer Fortschritt	Bruttoinlandsprodukt
2019 bis 2035	0,7% p.a.	-0,3% p.a.	0,5% p.a.	0,9% p.a.

Eigene Darstellung und Berechnungen nach Angaben der VGR.

Noch bedeutender als das Wachstum ist für den Rohstoffbedarf aber die Entwicklung der sektoralen Struktur. Das Verarbeitende Gewerbe, also die Industrie, stagniert in NRW bereits seit dem Beginn der 1990er-Jahre. Dieser Trend dürfte sich aller Voraussicht nach auch künftig fortsetzen und die NRW-Industrie daher im Prognosezeitraum in etwa auf dem heutigen Niveau stagnieren.

Das ist für den künftigen Rohstoffbedarf von NRW von zentraler Bedeutung, da der überwiegende Teil der Rohstoffnachfrage auf die Industrie entfällt, insbesondere auf die NRW-Schlüsselindustrien.

Abb. 6.2.2: Entwicklung der Wertschöpfung in NRW, in Mrd. €

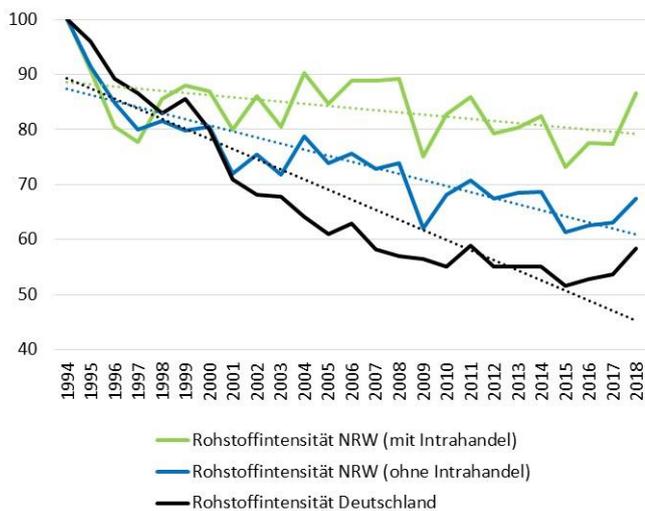


Eigene Darstellung und Berechnungen nach Angaben der VGR.

Bisherige Entwicklung der Rohstoffintensität

Unter Rohstoffintensität wird der physische Rohstoffeinsatz (in Tonnen) in Bezug auf die Wirtschaftsleistung (das reale Bruttoinlandsprodukt in €) verstanden. Sie ist schon seit Mitte der 1990er-Jahre sowohl im Bundesdurchschnitt als auch – wenn auch etwas schwächer ausgeprägt – in NRW tendenziell rückläufig. Berücksichtigt man zusätzlich auch noch den Intrahandel, also den Rohstoffhandel zwischen den Bundesländern, schwächt sich der Rückgang in NRW noch weiter ab. Das hängt damit zusammen, dass NRW beim Handel mit den anderen Bundesländern zwar während des gesamten Betrachtungszeitraums einen Ausfuhrüberschuss aufwies, der sich im Zeitverlauf aber kontinuierlich verringerte.

Abb. 6.2.3: Entwicklung der Rohstoffintensität



(1994 = 100)

Eigene Darstellung und Berechnungen nach Angaben der Umweltökonomischen Gesamtrechnungen der Länder (2020).

Künftige Entwicklung des Zusammenhangs von Wirtschaftswachstum und Rohstoffeinsatz in NRW

Es ist demnach bereits in der Vergangenheit eine Tendenz zur Entkopplung von Rohstoffeinsatz und Wirtschaftswachstum erkennbar gewesen. Die Frage ist, wie sich dies in Zukunft entwickeln wird. Aus heutiger Sicht zeichnen sich insbesondere die folgenden Trends ab:

- Auf den Rohstoffeinsatz wird sich diese Entwicklung dämpfend auswirken, da mit dem leicht verlangsamten Wachstum und der insgesamt stagnierenden Industrie, eine Abschwächung des Rohstoffbedarfs einhergehen wird, wenngleich sich bei bestimmten Rohstoffen aufgrund der Etablierung von Zukunftstechnologien infolge der Digitalisierung, Automatisierung und Dekarbonisierung der Wirtschaft teilweise stark steigende Bedarfe ergeben werden (Batterierohstoffe, Seltenerdenmetalle).
- Zu erwarten ist zugleich ein weiterer Anstieg der Rohstoffeffizienz, also der Wirtschaftsleistung pro eingesetzter Rohstoffeinheit. Somit wird pro eingesetzter Menge eines bestimmten Primärrohstoffs die Produktionsmenge steigen oder, anders ausgedrückt, bei einer konstanten Produktionsmenge der Primärrohstoffeinsatz sinken.
- Dabei werden Primärrohstoffe künftig vermehrt durch den Einsatz von Sekundärrohstoffen substituiert. Dies wird auf vier Wegen erfolgen: (1) einer Verbesserung der Recyclingfähigkeit der neu erstellten Produkte (*zirkuläres Design*), (2) einer Erhöhung des zur Verfügung stehenden Sekundärmaterials durch eine Steigerung der Sammelquoten von End-of-Life-Produkten oder einer Verringerung von (illegalen) Schrottexporten, (3) einer nachhaltigen Verbesserung der Recyclingtechnologien sowie (4) einem Ausbau der Recyclingkapazitäten.
- Es werden somit bis 2035 die Stoffkreisläufe deutlich stärker geschlossen werden. NRW kann hier wichtige Impulse setzen und dadurch auch dazu beitragen, die bisherige Wachstumsschwäche durch die Transformation zu einer nachhaltigeren Wirtschaftsweise zu überwinden und zugleich die derzeit noch große Abhängigkeit von Primärrohstoffimporten zu verringern versuchen. Eine geschlossene Kreislaufwirtschaft ist gleichwohl eine Utopie, weil es auch künftig einen gewissen Bedarf geben wird, Primärrohstoffe einzusetzen, da es im Zuge von Recyclingprozessen selbst bei verbesserten Technologien immer noch Verluste geben wird, Produkte vermutlich nie vollständig recycelbar sein werden und Rohstoffe zudem lange in Produkten gebunden sind oder durch Warenexporte dem eigenen Einflussbereich entzogen werden bzw. durch Warenimporte neu hinzukommen. Ungeachtet dessen wäre es für NRW sinnvoll, auch in Richtung einer möglichst weitgehenden Etablierung einer Kreislaufwirtschaft verstärkte Aktivitäten zu entfalten und nach Möglichkeit sogar eine Vorreiterrolle einzunehmen.
- Es wird in jedem Fall weiterhin ein wesentlicher Faktor für die Sicherstellung der Wettbewerbsfähigkeit der Industrie bleiben, die Lieferketten des Primärrohstoffbezugs abzusichern und Lieferquellen weiter zu diversifizieren.



6.3 Fact Sheet: Rohstoffrisiken für die NRW-Industrie

Das Wichtigste in Kürze

- Von den Rohstoffen, die künftig besonders für die Zukunftstechnologien der NRW-Schlüsselindustrien relevant sind, bergen 20 ein hohes und 15 ein mittleres Risiko.
- Als Kriterien dafür sind insbesondere die künftige Nachfrageentwicklung sowie die Konzentration und politische Stabilität der Förderländer ausschlaggebend.
- Die Substitutions- und Recyclingfähigkeit ist bei vielen dieser Rohstoffe noch gering, sie wird künftig aber steigen und sich dann risikomindern auswirken.
- Bei vielen dieser Rohstoffe sind die NRW-Anteile an den deutschen Einfuhren überproportional hoch.

Risikoeinschätzung der Rohstoffe

Aus der Gesamtschau verschiedenen Faktoren ergibt sich die Risikobewertung für die Rohstoffe, die von den NRW-Schlüsselindustrien benötigt werden. 20 Rohstoffe weisen demnach ein hohes und 15 ein mittleres Risiko auf. Die Gesamtschätzung der Risiken dieser Rohstoffe impliziert zum einen die möglichen physischen Versorgungsrisiken, zum anderen aber auch die Risiken von Preissteigerungen. Das Risiko eines Rohstoffes ist dabei umso relevanter, je größer dessen wirtschaftliche und strategische Bedeutung ist. Besonders ausschlaggebend für die Einordnung der Rohstoffe in ein hohes oder mittleres Gesamtrisiko ist weniger die Höhe der Vorräte, sondern vor allem die künftige Nachfrageentwicklung sowie die Konzentration und politische Stabilität der wichtigsten Förderländer.

Abb. 6.3.1: Risikofaktoren der Importrohstoffe

Rohstoff	Risikofaktoren						
	Vorräte	Nachfrageentwicklung	Länderkonzentration	Politische Risiken	Substituierbarkeit ¹	Recyclingfähigkeit ¹	Risiko insgesamt
Gesamtbewertung: hohes Risiko							
Chrom							
Dysprosium							
Gallium							
Germanium							
Graphit							
Indium							
Kobalt							
Lithium							
Mangan							
Neodym							
Palladium							
Platin							
Praseodym							
Scandium							
Silber							
Tantal							
Titan							
Wolfram							
Yttrium							
Zinn							
Gesamtbewertung: mittleres Risiko							
Aluminium							
Antimon							
Blei							
Gold							
Kupfer							
Magnesium							
Molybdän							
Nickel							
Niob							
Rhenium							
Rhodium							
Ruthenium							
Silizium							
Vanadium							
Zink							

weiß = geringes Risiko; hellgrau = mittleres Risiko; dunkelgrau = hohes Risiko

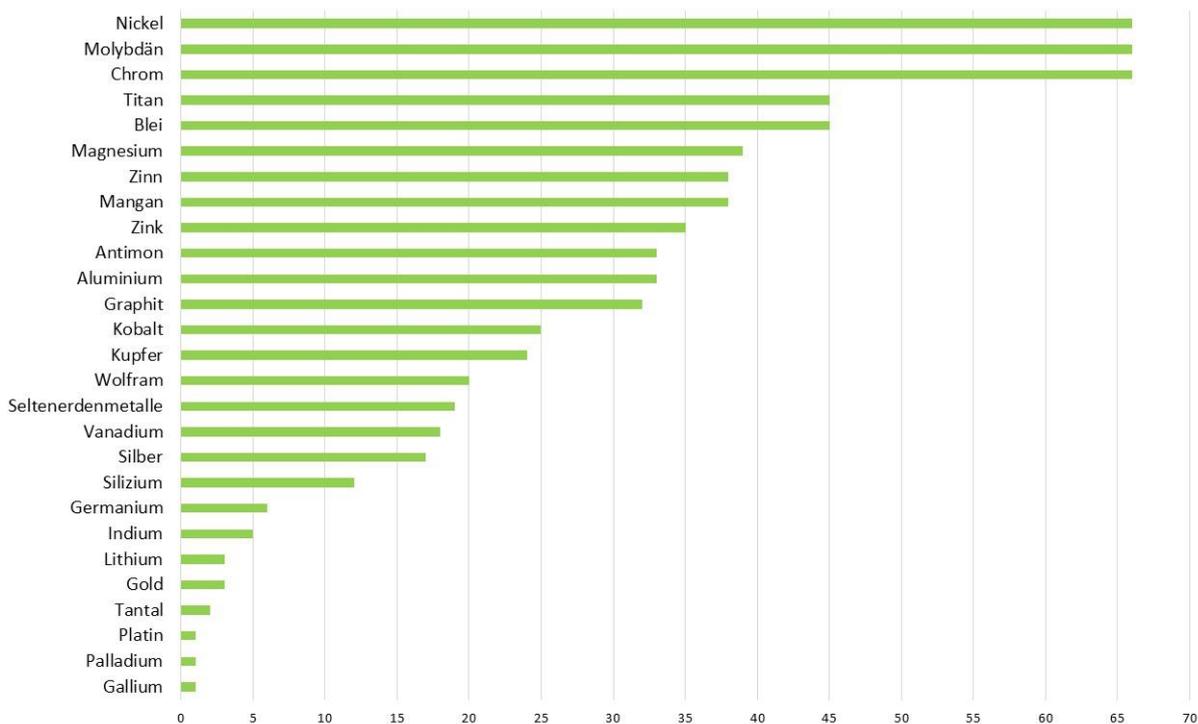
Eigene Darstellung. – ¹Je höher die Substituierbarkeit/Recyclingfähigkeit ist, umso geringer das Risiko.

Substituierbarkeit und Recyclingfähigkeit wirken trendverstärkend, sind aber zurzeit noch nicht so entscheidend, da die Substitutionsmöglichkeiten meist nur gering und die Recyclingquoten bei vielen dieser Rohstoffe noch relativ niedrig sind. Dies dürfte sich jedoch in Zukunft mehr oder weniger deutlich ändern, sodass diese Kriterien dann im Sinne eines abnehmenden Risikos an Bedeutung gewinnen.

NRW-Anteile an den gesamtdeutschen Einfuhren

Die Bedeutung risikobehafteter Rohstoffe für NRW wurde anhand einer Auswertung der Außenhandelsstatistik bestimmt. Dies erfolgte durch eine Berechnung der Anteile an den gesamtdeutschen Einfuhrwerten, die für die jeweiligen Rohstoffe auf die nordrhein-westfälische Industrie entfallen.

Abb. 6.3.2: Anteile von NRW am Wert der Einfuhren kritischer Rohstoffe nach Deutschland

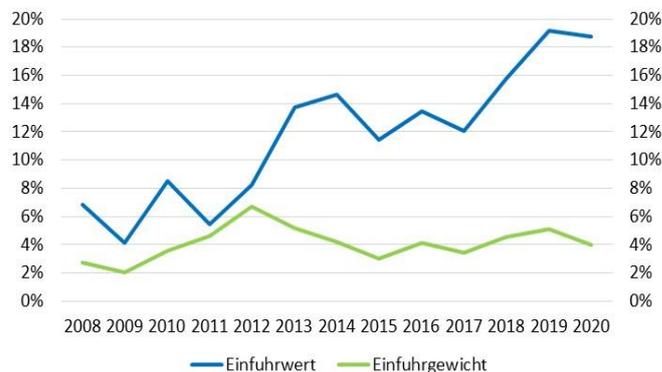


Eigene Darstellung und Berechnungen nach Angaben der Außenhandelsstatistik des Statistischen Bundesamts (2021).

Die Ergebnisse zeigen die Stärken der NRW-Metallindustrie in Hinblick auf die Verhüttung bzw. Raffinierung von Rohstoffen auf, die in hohen Anteilen an den deutschen Einfuhren zum Ausdruck kommen. Dazu gehören die Massenrohstoffe (Aluminium, Blei, Kupfer, Titan und Zink), aber auch bedeutende Batterierohstoffe (Graphit, Kobalt, Mangan und Nickel) und weitere Rohstoffe, die für Zukunftstechnologien relevant sind (Antimon, Chrom, Magnesium, Molybdän und Zinn). Zugleich wurden aber auch geringe Einfuhranteile bei einigen für die Etablierung von Zukunftstechnologien relevanten Rohstoffen erkennbar (z.B. in Bezug auf Lithium oder die Platingruppenmetalle). Ermutigend ist aber, dass sich z.B. bei den ebenfalls für Zukunftstechnologien bedeutsamen Seltenerdenmetallen eine positive Entwicklung vollzogen hat.

sind, damit mehr Sekundärrohstoffe verfügbar gemacht werden können, die dann die Primärrohstoffe ersetzen können.

Abb. 6.3.3: Einfuhranteile von Seltenerdenmetallen nach NRW



Anteil an den gesamtdeutschen Einfuhren

Eigene Darstellung und Berechnungen nach Angaben der Außenhandelsstatistik des Statistischen Bundesamts (2021).

Die NRW-Wirtschaft wird einstweilen darauf angewiesen bleiben, Primärrohstoffe einzuführen, zumindest bis sich die Recyclingfähigkeit der Produkte im Sinne eines zirkulären Designs und die Recyclingtechnologien nachhaltig verbessert haben sowie hinreichende Recyclingkapazitäten vorhanden



6.4 Fact Sheet: Rohstoffbedarf der NRW-Schlüsselindustrien

Das Wichtigste in Kürze

- ⇒ Der Industrieanteil ist in NRW geringer als im Bundesdurchschnitt, zudem war er im zurückliegenden Jahrzehnt leicht rückläufig. Die Automobil- sowie die Elektronik- und Elektroindustrie sind in NRW unterrepräsentiert, die Chemische und die Metallindustrie dagegen deutlich überrepräsentiert. Der Maschinenbau und die Kunststoffindustrie haben eine ähnlich große Bedeutung wie im Bund.
- ⇒ Die Elektronik- und Elektroindustrie sowie der Maschinenbau, die alle risikobehafteten Rohstoffe benötigen und zahlreiche Zukunftstechnologien adressieren, weisen in NRW gute Zukunftsperspektiven auf. Die Chemische Industrie und die Metallindustrie, die wenige risikobehaftete Rohstoffe einsetzen und auch weniger Zukunftstechnologien adressieren, werden künftig dagegen schrumpfen.
- ⇒ Die NRW-Schlüsselindustrien stehen vor einer Transformation mit Auswirkungen auf den Rohstoffbedarf: Chemische und Metallindustrie müssen ihre energetische Basis auf grünen Wasserstoff umstellen, die Automobilindustrie muss elektrifizierte Antriebe einführen, die Elektronik- und Elektroindustrie sowie der Maschinenbau müssen zahlreiche Zukunftstechnologien umsetzen und die Kunststoffindustrie muss Vorreiter der Kreislaufwirtschaft werden.

Entwicklung der NRW-Schlüsselindustrien

Die sechs ausgewählten NRW-Schlüsselindustrien, die in erster Linie für den Import von mineralischen Primärrohstoffen maßgebend sind, repräsentieren rund zwei Drittel der Umsätze und drei Viertel der Wertschöpfung des gesamten Verarbeitenden Gewerbes.

Der Industrieanteil von NRW ist insgesamt geringer als im Bundesdurchschnitt, was mit der schwachen Präsenz der Automobilindustrie zusammenhängt, aber auch der Elektronikindustrie, zudem war der Industrieanteil von NRW im zurückliegenden Jahrzehnt rückläufig, wohingegen er im Bundesdurchschnitt leicht stieg.

Dagegen ist in NRW die Chemische Industrie – einschließlich der Herstellung pharmazeutischer Erzeugnisse – und die Metallindustrie überrepräsentiert. Aus der Struktur und Entwicklung der Schlüsselindustrien sowie den hiervon künftig adressierten Zukunftstechnologien lässt sich ableiten, welche Rohstoffbedarfe und -risiken daraus resultieren.

Bis 2035 dürften die Elektronik- und Elektroindustrie etwas stärker und der Maschinenbau leicht wachsen, die Automobilindustrie stagnieren, die Chemische Industrie, die Metallindustrie und die Kunststoffindustrie dagegen schrumpfen.

Tab. 6.4.1: Struktur der NRW-Schlüsselindustrien im Vergleich zu Deutschland

	NRW		Deutschland		NRW		Deutschland	
	Umsatzanteil laut Umsatzsteuerstatistik in %				Wertschöpfungsanteil laut VGR in %			
	2009	2016	2009	2016	2008	2017	2008	2017
Anteil an der Wirtschaft insgesamt in %								
Automobilindustrie	2,2	2,7	5,1	7,1	1,5	1,6	3,7	5,3
Chemische Industrie	4,6	4,3	3,8	3,6	3,2	3,2	2,5	2,4
Elektronik-/Elektroindustrie	2,5	2,4	3,5	3,5	2,2	2,3	3,0	2,9
Maschinenbau	3,4	3,6	3,3	3,4	3,8	3,1	3,7	3,5
Metallindustrie	5,9	5,8	3,7	3,8	5,2	4,3	3,2	2,6
Kunststoffindustrie	0,9	1,2	1,0	1,1	-	-	1,0	1,0
Anteil des VG insgesamt	30,0	27,1	32,6	33,3	22,0	20,1	22,3	22,7
Anteil am Verarbeitenden Gewerbe in %								
Automobilindustrie	7,3	10,0	15,6	21,3	6,8	8,0	16,6	23,3
Chemische Industrie	15,3	15,9	11,7	10,8	14,5	15,9	11,2	10,6
Elektronik-/Elektroindustrie	8,3	8,9	10,7	10,5	10,0	11,4	13,5	12,8
Maschinenbau	11,3	13,3	10,1	10,2	17,3	15,4	16,6	15,4
Metallindustrie	19,7	21,4	11,3	11,4	23,6	21,4	14,3	11,5
Kunststoffindustrie	3,0	4,4	3,1	3,3	-	-	4,5	4,4
Anteil am VG insgesamt	65,0	73,8	62,6	67,6	72,3	72,1	76,7	78,0

Eigene Darstellung und Berechnungen nach Angaben des Statistischen Bundesamts und der VGR der Länder.

Mögliche Engpässe bei der Rohstoffversorgung

Die Rohstoffintensität hat in der NRW-Industrie in den zurückliegenden Jahrzehnten bereits tendenziell abgenommen, was sich künftig fortsetzen dürfte. Der Anteil des Primärrohstoffeinsatzes am gesamten Rohstoffeinsatz dürfte sinken, da der Einsatz von Sekundärrohstoffen steigen wird. Dem steht aber ein zunehmender Bedarf bei einigen risikobehafteten Rohstoffen gegenüber, der sich aus dem erwarteten Bedeutungszuwachs von Zukunftstechnologien ergibt.

Engpässe bei der Versorgung mit Rohstoffen sind dann besonders relevant, wenn sie die Konkurrenzfähigkeit der Unternehmen oder ganzer Industrien infrage stellen könnten, etwa durch die Störung der Lieferketten bzw. Bezugswege infolge veränderter Rahmenbedingungen oder stark steigender Rohstoffpreise. Dies ist vor allem in Hinblick auf die anstehenden technologischen Veränderungen in den NRW-Schlüsselindustrien und den damit einhergehenden Auswirkungen auf deren Wertschöpfungsketten von Bedeutung.

In Lithium-Ionen-Batterien, die künftig vermehrt die Automobilindustrie für Elektroautos benötigt, werden gleich mehrere risikobehaftete Rohstoffe verbaut. Neben den Massenrohstoffen (z.B. Aluminium, Eisen, Kupfer) sind das die klassischen Batterierohstoffe (Lithium, Nickel, Kobalt, Mangan, Graphit) sowie weitere, weniger im Fokus stehende Rohstoffe. Die Automobilindustrie benötigt im Zusammenhang mit der Elektrifizierung der Antriebe aber nicht nur Batterierohstoffe, sondern auch noch eine zweite Gruppe von kritischen Metallen, näm-

lich Seltenerdenmetalle für Permanentmagnete in Elektromotoren. Darüber hinaus sind Seltenerdenmetalle aber auch für Windkraftanlagen und mehrere weitere industrielle Anwendungen relevant. Auch Platingruppenmetalle sind für zahlreiche Zukunftstechnologien unabdingbar.

Für die Elektronik- und Elektroindustrie sowie den Maschinenbau sind nahezu alle risikobehafteten Rohstoffe von Bedeutung, zudem rund zwei Drittel der Zukunftstechnologien. Das hängt damit zusammen, dass diese Industrien von mehreren technologischen Trends betroffen sind (Digitalisierung, Automatisierung und Dekarbonisierung der Wirtschaft, Elektrifizierung der Antriebe, Energiewende), womit jeweils die Etablierung von Zukunftstechnologien im Zusammenhang steht.

Die Chemische Industrie hat es dagegen mit der Herausforderung zu tun, die gerade in NRW sehr bedeutende Grundstoffproduktion im Bereich der organischen Chemie energetisch transformieren zu müssen. Zudem steht die Chemische Industrie aber auch aufgrund der immer restriktiver werdenden Grenzwerte seitens des Chemikalienrechts unter Druck.

Auch die NRW-Metallindustrie hat sich zwei großen Herausforderungen zu stellen: Zum einen muss auch sie die energetische Basis transformieren, da sie die Stahlproduktion perspektivisch von Koks- und Kohle auf grüne Wasserstofftechnologien umstellen muss, zum anderen ist sie von den Rohstoffpreiserhöhungen unmittelbar betroffen, da sie maßgeblich als Zulieferindustrie für andere NRW-Schlüsselindustrien fungiert, da sie für sie metallische Rohstoffe weiterverarbeitet.

Tab. 6.4.2: Zahl der Nennungen der Rohstoffe mit hohem Risiko für Zukunftstechnologien in den NRW-Schlüsselindustrien

Rohstoffe	Relevanz für die NRW-Schlüsselindustrien					
	Automobil-industrie	Chemische Industrie	Elektronik-/ Elektroindustrie	Maschinenbau	Metall-industrie	Kunststoff-industrie
Chrom	1	1	2	4		
Dysprosium	2		3	4	1	
Gallium	1		3	1		
Germanium	1		4	3	2	2
Graphit	2		1	1		
Indium	1		5	2		
Kobalt	6	1	5	5		1
Lithium	2		4	3	1	1
Mangan		1	1	2		
Neodym	4		4	4	1	
Palladium	2	2	1	1		
Platin	2	1	1	1		
Praseodym	2		2	2	1	
Scandium	2	1	3	3	2	1
Silber		1	7	4	1	
Tantal	2		5	2	1	1
Titan	4	1	6	6	1	1
Wolfram	1		2	1		
Yttrium	3	1	4	3	1	
Zinn	3		6	2		

Eigene Darstellung und Berechnungen.



6.5 Fact Sheet: Förderung und Bedarf heimischer Primärrohstoffe

Das Wichtigste in Kürze

- ➔ Deutschland ist ein bedeutendes Rohstoffförderland, was sich jedoch vornehmlich auf Industriemineralien und Baurohstoffe bezieht, nicht dagegen auf metallische Rohstoffe. Die heimische Förderung mineralischer Rohstoffe hat aber am gesamtwirtschaftlichen Produktionswert nur einen Anteil von 0,1% (Rohstoffimporte 1,3%).
- ➔ Die heimische Förderung mineralischer Rohstoffe war im zurückliegenden Vierteljahrhundert tendenziell rückläufig, stieg zuletzt aber aufgrund des Baubooms wieder an.
- ➔ Heimische Rohstoffe sind für die Infrastrukturinvestitionen und den Wohnungsbau unerlässlich, kommen aber auch in vielen industriellen Anwendungen zum Einsatz.

Gesamtwirtschaftliche Bedeutung der Förderung heimischer mineralischer Primärrohstoffe

Deutschland wird in Bezug auf die Rohstoffförderung im internationalen Vergleich nur auf Rang 33 geführt. Mengenmäßig entfallen allerdings 85% des gesamten inländischen Bedarfs an Primärrohstoffen auf die heimische Rohstoffförderung. Gleichwohl hat die heimische Förderung mineralischer Rohstoffe nur einen Anteil am gesamtwirtschaftlichen Produktionswert von gut 0,1%. Zum Vergleich: Der Wert der eingeführten mineralischen Rohstoffe ist mit einem Anteil am gesamtwirtschaftlichen Produktionswert von 1,3% wesentlich höher. Das bedeutet, dass der überwiegende Teil der gesamten Rohstoffversorgung wertmäßig nicht durch die heimische Rohstoffförderung gedeckt werden kann.

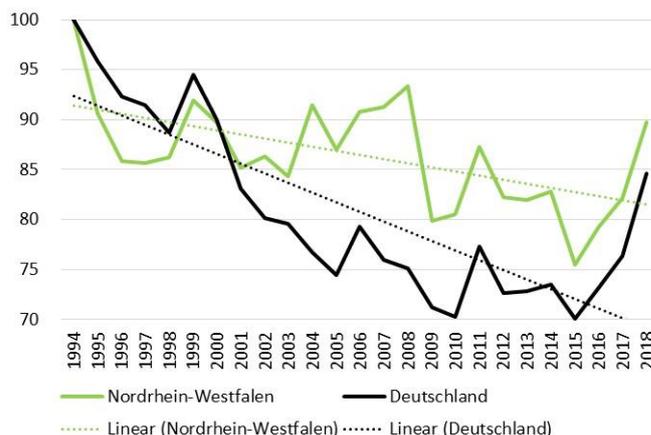
Daraus lässt sich aber nicht auf die Abhängigkeit von nicht im Inland geförderten mineralischen Rohstoffen schließen, und zwar aus drei Gründen: (1) Mengenmäßig werden etwa die Hälfte der eingeführten Metalle wieder ausgeführt, wertmäßig liegt deren Anteil am Produktionswert sogar bei 1,0%. Hintergrund ist, dass Metalle z.B. als Erze eingeführt, hier dann raffiniert und schließlich, soweit nicht von der heimischen Industrie benötigt, wieder als Rohstoff ausgeführt werden. Bei der Raffinade weist vor allem NRW ausgewiesene Stärken auf. (2) Ein großes inländisches Rohstoffreservoir stellen Sekundärrohstoffe dar. Diese sind bei einigen Rohstoffen bereits bedeutend, künftig sind aber noch erhebliche Verbesserungen zu erwarten. Auch die Recyclingprozesse betreffend hat NRW große Stärken. (3) Von den für den Hoch- und Tiefbau (z.B. Infrastrukturinvestitionen), aber auch für viele weitere Anwendungen essenziellen Nichtmetallen werden mengenmäßig deutlich mehr aus- als eingeführt. Deutschland ist hier somit ein Nettoexporteur, was auch für NRW gilt.

Entwicklung der heimischen Rohstoffförderung

Bei der Entwicklung der heimischen Förderung mineralischer Primärrohstoffe ist ein rückläufiger Trend zu erkennen. Der Anstieg seit 2015 ist in erster Linie auf den Boom der Bauindustrie zurückzuführen. NRW baut mit 4 Tsd. Tonnen pro km²

Fläche doppelt so viele Rohstoffe ab wie im Bundesdurchschnitt (2 Tsd. Tonnen pro km²), pro Einwohner mit 7,5 Tonnen aber weniger (8,5 Tonnen), was vor allem damit zusammenhängt, dass es in NRW keine Kalisalzvorkommen gibt.

Abb. 6.5.1: Förderung mineralischer Rohstoffe in Deutschland und NRW



in physischen Einheiten (Tonnen); 1994 = 100

Eigene Darstellung und Berechnungen nach Angaben von UGRdL.

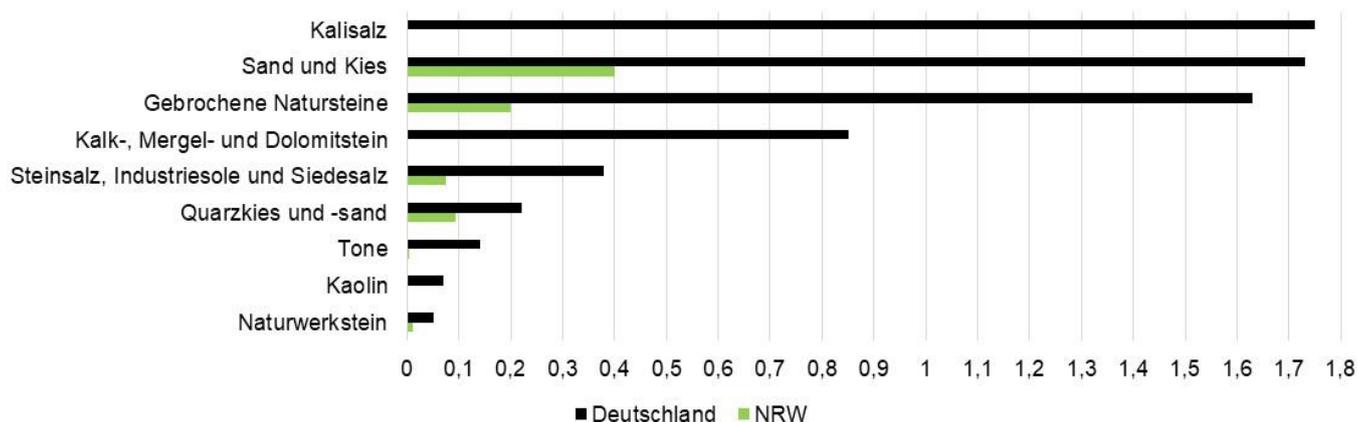
Verwendung der heimisch geförderten mineralischen Primärrohstoffe in der Industrie

Bei den heimisch geförderten mineralischen Primärrohstoffen handelt es sich insbesondere um Steine und Erden oder Industriemineralien. Beispiele für industrielle Anwendungen sind:

- Bauindustrie (Kies und Sand als Baurohstoffe),
- Keramikindustrie (Tone u.a. für Ziegel und Fliesen),
- Metallindustrie (u.a. Quarzsand für Gussformen),
- Glasindustrie (Quarzsand zur Herstellung von Gläsern),
- Automobilindustrie (u.a. Schwerspat für Bremsbeläge),
- Elektroindustrie (u.a. Feldspat für die Elektrokeramik, Silizium aus Quarzkies z.B. für die Chipherstellung),
- Chemische Industrie (u.a. Chlorverbindungen aus Steinsalz in Kunststoffen und Medikamenten sowie Kalisalze zur Düngemittelherstellung für die Landwirtschaft),
- Kunststoffindustrie (Quarzsand zur Fertigung glasfaserverstärkter Kunststoffe wie Fiberglas),
- Lebensmittelindustrie (Steinsalz).

Feld- und Schwerspate sowie Kalisalze kommen in NRW zwar nicht vor, bei der Bereitstellung der anderen heimischen Rohstoffe, die für die aufgeführten industriellen Anwendungsbereiche relevant sind, ist NRW aber durchaus bedeutend.

Abb. 6.5.2: Produktionswerte der in Deutschland und NRW geförderten Rohstoffe, in Mrd. €

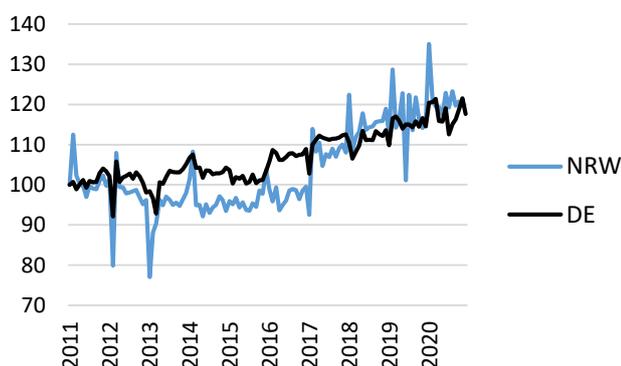


Eigene Darstellung und Berechnungen nach Angaben von BMWi, EIT, Geologischer Dienst NRW und vero.

Künftige Entwicklung des Bedarfs heimisch geförderter Bau- und Keramikrohstoffe

Die Entwicklung der Bauindustrie in NRW verlief in den zurückliegenden fünf Jahren ähnlich dynamisch wie die in Deutschland insgesamt, was auf eine jeweils ähnliche Branchenstruktur hindeutet.

Abb. 6.5.3: Entwicklung der Bauindustrie



2010 = 100; kalender- und saisonbereinigte Werte

Eigene Darstellung und Berechnungen nach Angaben der Deutschen Bundesbank.

Die künftige Nachfrage nach heimisch geförderten Rohstoffen hängt insbesondere mit der Entwicklung der Bauindustrie zusammen, da dies zum einen einer der größten Abnehmer ist, zum anderen hängt aber auch die Nachfrage der Keramikindustrie ebenfalls maßgeblich von der Entwicklung der Bauindustrie ab (u.a. Fliesen und Ziegel). Die größten Wachstumstreiber sind dabei die Rückstaus bei den Infrastrukturinvestitionen (Autobahnen, Straßen, Brücken, Tunnel, Bahnstrecken, Flug- und Schifffahrtshäfen, Bewässerungs- und Kanalisationsanlagen) und den Wohnungsbauinvestitionen. Zu letzterem kommt hinzu, dass in NRW bis 2050 alle Gebäude in Hinblick auf Klimaneutralität saniert sein sollen.

Zusammengenommen ist bis zum Ende dieser Dekade von einer weiterhin sehr dynamischen Baukonjunktur auszugehen. Infrastrukturentwicklung und Wohnungsbau werden zu einer Fortsetzung des Baubooms führen, verbunden mit einer wachsenden Rohstoffnachfrage. Auch wenn sich die Dynamik im Zuge der demografischen Entwicklung zum Ende der 2020er-Jahre voraussichtlich etwas abschwächen dürfte, bleibt das Gesamtbild für die Bauindustrie auch langfristig positiv.

Transportwürdigkeit der Baurohstoffe

Künftig könnten somit die Preise für Baurohstoffe wie Kies und Sand steigen, wenn eine zunehmende Nachfrage auf eine schwieriger werdende Sicherstellung von Flächen für die Förderung heimischer Rohstoffe stößt. Diese Problematik betrifft übrigens nicht nur NRW, sondern auch die benachbarten Bundesländer und Benelux-Staaten, die ebenfalls von einer steigenden Nachfrage bei zugleich zunehmenden Flächenversiegelungen sowie natur- und wasserschutzbedingten Einflüssen auf die heimische Rohstoffförderung betroffen sind.

Dies ist vor dem Hintergrund relevant, dass Kies und Sand insbesondere beim Einsatz als Massenrohstoff im Baugewerbe unter ökonomischen Gesichtspunkten (steigende Transportkosten) und aus Gründen der Nachhaltigkeit (zunehmender Energieverbrauch) mit Lastkraftwagen möglichst nicht weiter als 50 km transportiert werden sollten. Daher muss die Gewinnung dieser Massenrohstoffe möglichst dezentral erfolgen. Als Transportmittel kommt zwar grundsätzlich auch die Binnenschifffahrt infrage, zumal sich viele Kiesgruben entlang der Rheinschiene befinden, dieser Transportweg stellt aber nicht zuletzt auch wegen der Niedrigwasserproblematik des Rheins eher die Ausnahme dar und wird daher vornehmlich für Ausfuhren in den Benelux-Raum genutzt. Insofern dürften Lastkraftwagen das wichtigste Transportmittel bleiben. Daher sollte auch künftig eine möglichst flächendeckende Versorgung mit Baurohstoffen gewährleistet werden.



6.6 Fact Sheet: Handel von heimisch geförderten Baurohstoffen

Das Wichtigste in Kürze

- ➔ Bei Metallen ist NRW vollständig von Einfuhren abhängig, bei Nichtmetallen besteht aber ein Ausfuhrüberschuss.
- ➔ Bei Steinen und Erden wurden 2020 von NRW gut 0,3 Mrd. € ausgeführt, was einem Viertel der deutschen Ausfuhren in diesem Bereich entspricht.
- ➔ Darunter befanden sich 12 Mill. Tonnen Kies und Sand für 0,15 Mrd. €, die vornehmlich in die Niederlande und nach Belgien ausgeführt wurden.
- ➔ Eine Regulierung der Kiesausfuhren ist weder angebracht noch mit dem freien Warenhandel in der EU vereinbar.

Handel mineralischer Rohstoffe

Der Wert der Einfuhren von mineralischen Rohstoffen nach Deutschland lag im Jahr 2019 bei 75 Mrd. € (Metalle) bzw. 4 Mrd. € (Nichtmetalle), jeweils einschließlich Halbwaren. Zugleich wurden aber auch 60 Mrd. € (Metalle) bzw. 3 Mrd. € (Nichtmetalle) exportiert, ebenfalls einschließlich Halbwaren. Mengenmäßig wurden 86 Mill. Tonnen Metalle und 31 Mill. Tonnen Nichtmetalle eingeführt sowie 44 Mill. Tonnen Metalle und 46 Mill. Tonnen Nichtmetalle ausgeführt.

Das bedeutet, dass etwa die Hälfte der Metalle wieder exportiert wurde, allerdings in weiterverarbeiteter Form und einer damit verbundenen höheren Wertschöpfung. Die mengenmäßig höheren Ausfuhren der Nichtmetalle hängen damit zusammen, dass hierin die heimisch geförderten Rohstoffe enthalten sind, wobei hiervon etwa drei Viertel auf Steine und Erden und ein Viertel auf Industriemineralien wie z.B. Salze entfallen. Die Entwicklung war dabei in NRW und Deutschland ähnlich.

Mineralische Rohstoffe werden aber nicht nur in Form von Erzen, Konzentraten, Verbindungen oder Halbwaren eingeführt, sondern auch in Fertigwaren, da hierin ebenfalls Rohstoffe enthalten sind. Bei den Metallen macht der direkte Import als Rohstoff nur ca. 30% aus, 45% werden in Form von Halbwaren und 25% in Form von Fertigwaren eingeführt.

Die tatsächliche Einfuhr von Rohstoffen geht also deutlich über die statistisch gemessene Rohstoffeinfuhr hinaus. Es werden aber auch Rohstoffe in Form von Fertigprodukten ausgeführt, sodass auch die tatsächliche Ausfuhr von Rohstoffen über die statistisch ausgewiesene Ausfuhr hinausgeht.

Rohstoffe stehen am Anfang der Wertschöpfungskette und sind für die Güterproduktion essenziell. Stünden sie nicht zur Verfügung, wäre die Wertschöpfungskette gleich zu Beginn unterbrochen und es käme nicht zur Herstellung der Fertigprodukte. Die Versorgungssicherheit der Rohstoffe in Bezug auf Menge und Preis hat daher eine zentrale Bedeutung. Das gilt ganz besonders auch für die Versorgung mit heimisch geförderten Rohstoffen, vor allem mit den transportkostensensiblen Kiesen und Sanden, die für die anstehenden umfangreichen

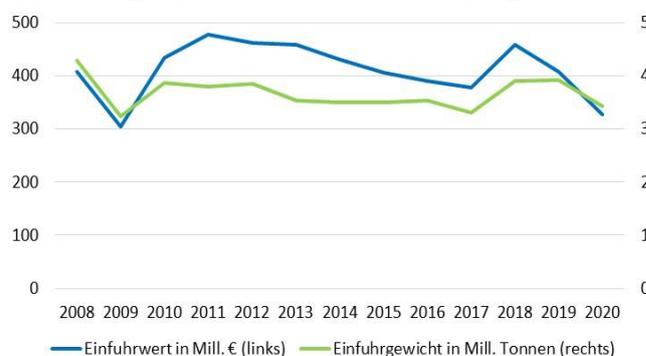
Infrastrukturinvestitionen genauso essenziell sind wie für die ebenfalls erheblichen Investitionen in den Wohnungsbau.

Im Gegensatz zu den Metallen stellen daher bei den Baurohstoffen Einfuhren aus dem benachbarten Ausland oder aus benachbarten anderen Bundesländern nur in einem sehr begrenzten Maße eine echte Alternative dar, zumal sie meist in Qualitäten benötigt werden, die von den (internationalen) Märkten häufig gar nicht bereitgestellt werden können.

Handel von Steine und Erden

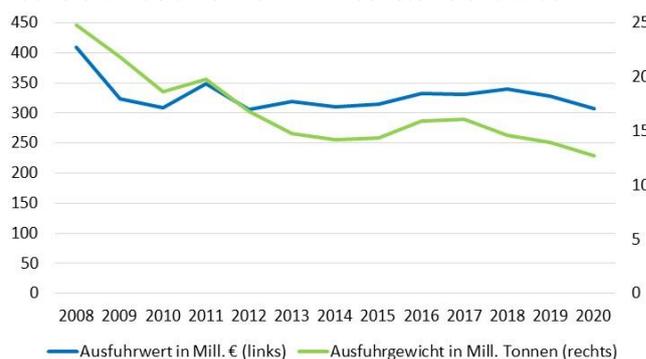
Bei Steine und Erden wurden im Jahr 2020 3 Mill. Tonnen für 0,33 Mrd. € nach NRW eingeführt und 13 Mill. Tonnen für 0,31 Mrd. € ausgeführt. Insbesondere die Ausfuhrmengen gingen im Zeitverlauf aber recht deutlich zurück und haben sich 2020 im Vergleich zu 2008 annähernd halbiert.

Abb. 6.6.1: Einfuhren von NRW bei Steine und Erden



Eigene Darstellung und Berechnungen nach Angaben der Außenhandelsstatistik des Statistischen Bundesamts.

Abb. 6.6.2: Ausfuhren von NRW bei Steine und Erden



Eigene Darstellung und Berechnungen nach Angaben der Außenhandelsstatistik des Statistischen Bundesamts.

Der Anteil von NRW am gesamtdeutschen Einfuhrwert von Steine und Erden war über die Zeit hinweg relativ konstant. 2008 lag er bei 27% und 2020 bei 24%, die Einfuhrmenge ging von 18% auf 17% zurück. Ähnlich konstant war der Anteil von NRW am gesamtdeutschen Ausfuhrwert, der von 27% in 2008 auf 25% in 2020 zurückging, der Anteil der Einfuhrmenge ging von 49% auf 43% zurück.

Handel von Kies und Sand

In NRW gibt es bei dem transportkostensensiblen Kies und Sand auch in der Fläche (noch) kein Versorgungsproblem. Das lässt sich daran ablesen, dass sie auch ausgeführt werden. Laut Außenhandelsstatistik wurden im Jahr 2020 an Kies und Sand sowie Ton und Kaolin nur 2 Mill. Tonnen für 0,12 Mrd. € eingeführt, aber 12 Mill. Tonnen für 0,15 Mrd. € ausgeführt. Da es in NRW nur geringe Kaolinvorkommen gibt, beziehen sich die Einfuhren wohl eher auf Kaolin und Ton, die Ausfuhren dagegen vornehmlich auf Kies und Sand.

Genauere Angaben darüber, wie viel von den ausgewiesenen Ausfuhrmengen tatsächlich auf Kies und Sand entfällt und aus welchen Regionen in NRW diese stammen, lässt sich zumindest der Außenhandelsstatistik aber nicht entnehmen. Allerdings ist zum einen davon auszugehen, dass sich die Ausfuhren der transportkostensensiblen Kiese und Sande in erster Linie auf Belgien und die Niederlande beziehen.

Insofern werden etwa von den Kiesgruben am unteren Niederrhein auf dem Schifffahrtsweg regelmäßig bestimmte Mengen in den Benelux-Raum ausgeführt. So wurden beispielsweise im Jahr 2017 3,5 Mill. Tonnen Kies per Schiff in die Niederlande exportiert und damit knapp die Hälfte von dessen Kieseinfuhrbedarf in Höhe von ca. 8 Mill. Tonnen gedeckt.

Regulierung der Kiesausfuhren

Die Kiesexporte von NRW in den Beneluxraum sind immer mal wieder Anlass für Kritik. So wird beispielsweise von Umweltverbänden mitunter kritisiert, dass Eingriffe in Natur und Landschaft in NRW vorgenommen werden müssten, um die Defizite der Kiesförderung der Niederlande auszugleichen. Angeführt wird in dem Zusammenhang die restriktive Zulassungs- und Genehmigungspraxis in den Niederlanden, die mitverantwortlich für die zu geringe Kiesförderung vor Ort sein soll. Daraus wird schließlich die Forderung abgeleitet, den Kiesmarkt stärker zu regulieren, um die NRW-Ausfuhren von Kies in den Beneluxraum nach Möglichkeit zu unterbinden.

Zunächst einmal ist hierzu anzumerken, dass die Defizite bei der Kiesversorgung in den Niederlanden oder auch in Belgien

vor allem damit zu tun haben, dass diese Länder aus geologischen Gründen geringere Kiesvorkommen aufweisen, sodass sie keine Selbstversorger sein können. Es stimmt zwar, dass die landesplanerische Praxis in den Niederlanden zeitweise durchaus restriktiv war, das hat sich das in den vergangenen Jahren aber wieder gelockert, sodass der Abbau verschiedener Kiesvorkommen genehmigt werden konnte. Der Kieseinfuhrbedarf der Niederlande und entsprechend auch die Ausfuhren vom unteren Niederrhein dorthin haben sich daher im zurückliegenden Jahrzehnt bereits in etwa halbiert.

Grundsätzlich ist gegen Ausfuhren von Rohstoffen in andere EU-Länder aus ordnungsrechtlicher Sicht nichts einzuwenden. Schließlich sind die Niederlande ein benachbartes Land, dass in Bezug auf Kies auf Unterstützung durch andere Länder angewiesen ist. Schließlich ist auch zu bedenken, dass die Transportkosten bei Ausfuhren in die Niederlande höher sind, sodass sich alleine schon daraus ökonomische Grenzen hinsichtlich des Umfangs der Ausfuhrmengen ergibt.

Auch Ausfuhren von Kies im Rahmen des Intrahandels mit anderen Bundesländern werden im Übrigen ja nicht begrenzt. In der Rohstoffstrategie der Bundesregierung werden die Bundesländer sogar ausdrücklich dazu angehalten, dass bei der Verankerung von Rohstoffvorkommen in ihren Regional- und Landesplänen „länderübergreifende rohstoffspezifische Bedarfe berücksichtigt werden“. Die Argumentation, die gegenüber den Niederlanden vorgebracht wird, könnte ansonsten auch für den Intrahandel geltend gemacht werden, was dann dazu führen würde, dass Märkte nicht mehr funktionieren.

Insgesamt betrachtet dürfte daher eine Marktregulierung in Hinblick auf Kiesausfuhren in ein Land wie die Niederlande, mit dem sehr gute Wirtschaftsbeziehungen bestehen und das seinerseits auch Rohstoffe nach NRW liefert, nur schwer begründbar sein. Sollten die Ausfuhren gestoppt werden, würde das für die Niederlande im Übrigen bedeuten, dass es den Kies dann aus anderen Ländern zu voraussichtlich höheren Kosten einführen müsste, verbunden mit insgesamt vermutlich größeren negativen Umweltwirkungen. Abgesehen davon würde eine solche Ausrichtung dem Prinzip eines freien Warenverkehrs widersprechen.



6.7 Fact Sheet: Kreislaufwirtschaft und die Rolle von Sekundärrohstoffen

Das Wichtigste in Kürze

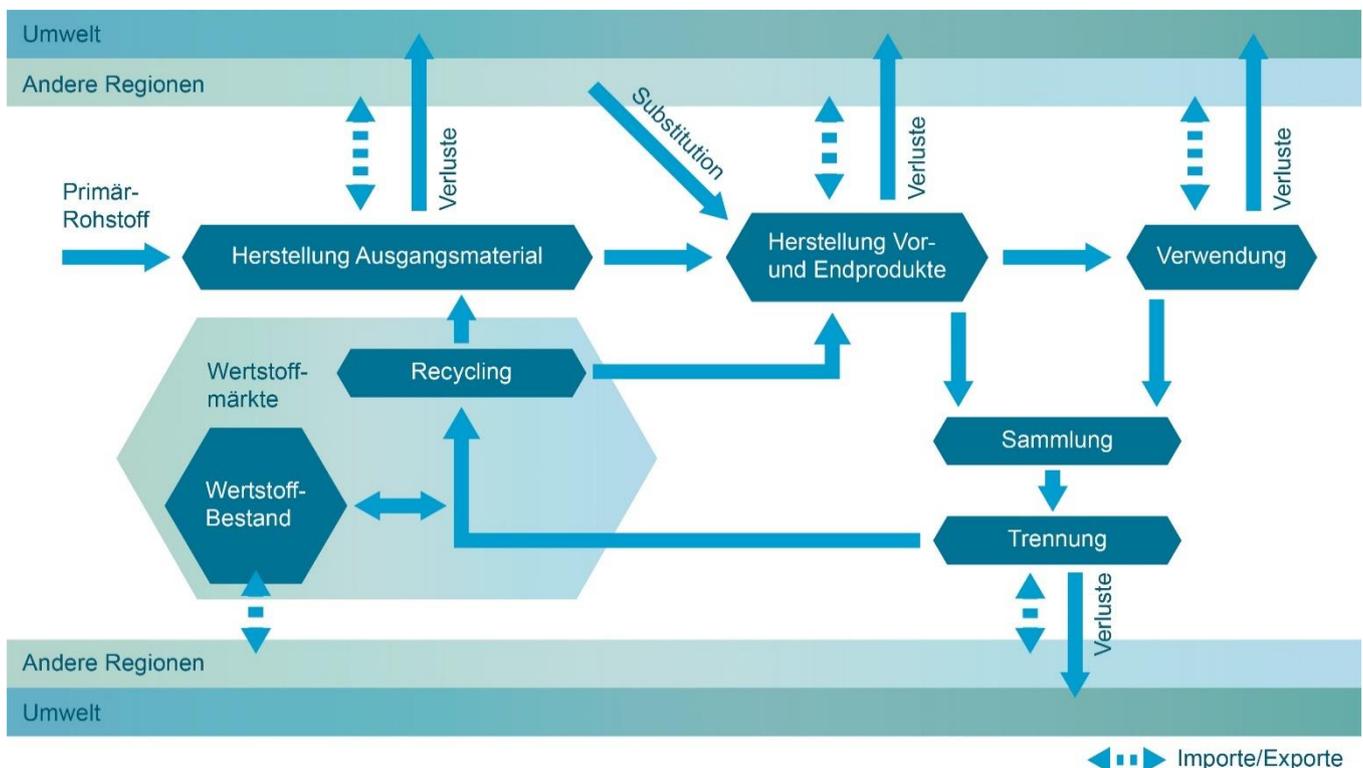
- ⇒ Die Kreislaufwirtschaft ist für die Versorgung von NRW mit Sekundärrohstoffen von hoher Relevanz, da in unserem Bundesland eine starke Industriestruktur einen zentralen Part in der Wertschöpfung spielt.
- ⇒ Die Kreislaufwirtschaft bietet einerseits wichtige Chancen für die Kreierung neuer Wertschöpfung und die Verringerung der Abhängigkeit von Rohstoffimporten.
- ⇒ Für die Kreislaufwirtschaft in NRW sind die Interdependenz mit anderen Regionen und der Umwelt zu berücksichtigen.
- ⇒ Auf regionaler Ebene sollten dabei insbesondere auch illegale Exporte ins EU-Ausland in den Blick genommen werden. Demgegenüber sind Export- und Importbeziehungen mit Regionen für die Etablierung effizienter und funktionsfähiger Kreislaufsysteme unabdingbar.
- ⇒ Verluste von Rohstoffen in die Umwelt können durch die Entwicklung effizienter Kreislaufsysteme verringert, jedoch nicht gänzlich unterbunden werden.
- ⇒ Ansatzpunkte für NRW ergeben sich in Hinblick auf die Nutzung existierender Recyclingpotenziale etwa beim Recycling von Kfz-Batterien und von Elektroschrott.

Circular Economy und Sekundärrohstoffe

Die Kreislaufwirtschaft (*Circular Economy*) ist durch die Eliminierung – mindestens aber die Minimierung – von Ressourcenverschwendung und von Abfallströmen bei einer gleichzeitigen Wiederverwendung von Sekundärrohstoffen aus diesen Abfallströmen gekennzeichnet. Dieses Ziel wird erreicht mit der systematischen Wiederverwendung von Produkten, der Minimierung des Ressourcenverbrauchs und der Etablierung von effizienten Recyclingstrukturen. Das Recycling soll sich gleichzeitig an ökonomischen Grundsätzen in Hinblick auf den Recyclingaufwand orientieren.

Die Grafik zeigt die für NRW zentralen Aspekte der Kreislaufwirtschaft aus. Dabei sind die regionalen und regionsübergreifenden Stoffströme von großer Bedeutung. Die Ein- und Ausfuhr von Gütern umfasst auch den Außenhandel mit Abfällen. Einerseits verlassen auf diese Weise Rohstoffe den Kreislauf, andererseits werden durch Importe zusätzliche Materialströme in den Kreislauf gebracht. Bei der Herstellung von Vor- und Endprodukten sowie bei der Verwendung der Endprodukte kommt es zu Materialverlusten an die Umwelt (Dissipation). Ein Element der Kreislaufidee ist es, die Dissipation von Rohstoffen aus den Kreisläufen zu verhindern, um damit Verluste zu minimieren (etwa durch die Verbesserung der Recyclingprozesse, die Optimierung der Sammel- und Trennsysteme sowie das recyclinggerechte Design).

Abb. 6.7.1: Relevante Stoffströme zur Abbildung des Sekundärrohstoffeinsatzes der Schlüsselindustrien in NRW



Eigene Darstellung.

Recyclingpotenzial von Rohstoffen für die NRW-Schlüsselindustrien

Zentrale Fragen in Hinblick auf die Erreichung der Zielsetzungen einer Kreislaufwirtschaft und die Sicherheit der Rohstoffversorgung für die Schlüsselindustrien in NRW sind die Substitutionsmöglichkeiten für einzelne Rohstoffe, die Rezyklierbarkeit und das bestehende Recyclingpotenzial.

Schaubild 6.7.2 gibt einen Überblick über verschiedene Rohstoffe nach Substituierbarkeit, bislang durchgeführtem Recycling und absehbarem Recyclingpotenzial. Substituierbarkeit bedeutet, dass ein Rohstoff in einer Anwendung durch einen anderen ersetzt wird. Beim Recycling stellt sich zunächst die Frage, inwieweit ein Rohstoff derzeit insbesondere nach dem Produktlebenszyklus (End-of-Life) recycelt wird. Das Recyclingpotenzial wird bestimmt durch zukünftige Technologien sowie die Effizienz von Sammelsystemen.

In vielen Fällen gibt es nur geringe oder keine Substitutionsmöglichkeiten gerade für kritische Rohstoffe. In Hinblick auf

das durchgeführte Recycling ist das Bild sehr gemischt. Solchen Rohstoffen, die nur in sehr geringem Maß recycelt werden, stehen andere wie Palladium oder Kupfer gegenüber, bei denen bereits seit langem eine hohe Recyclingquote vorherrscht. Das Recyclingpotenzial ist sehr unterschiedlich und abhängig von der Entwicklung der Sammelsysteme. So ist etwa bei Rohstoffen, die z.B. in der Batterieproduktion für die Elektromobilität eingesetzt werden, ein hohes Recyclingpotenzial zu erwarten (wie etwa bei Lithium oder Kobalt). Bei den Seltenerdenmetallen kann vermutet werden, dass künftig eine gewisse Recyclingkapazität aufgebaut werden kann.

Konsequenzen für NRW

Das Recycling von Rohstoffen ist für NRW ein wichtiger Ansatzpunkt für die Verringerung der Abhängigkeit von Rohstoffimporten, der in Zukunft aufgrund steigender Risiken hinsichtlich der Verfügbarkeit an Bedeutung gewinnen wird. Das Recyclingpotenzial einzelner Rohstoffe hängt von der Etablierung von Recyclingsystemen mit entsprechenden verfügbaren Recyclingtechnologien ab.

Abb. 6.7.2: Substituierbarkeit, Recycling und Recyclingpotenzial der Rohstoffe mit hohem Risiko

Rohstoffe	Substituierbarkeit	Recycling (bislang)	Recyclingpotenzial
Chrom			
Dysprosium			
Gallium			
Germanium			
Graphit			
Indium			
Kobalt			
Lithium			
Mangan			
Neodym			
Palladium			
Platin			
Praseodym			
Scandium			
Silber			
Tantal			
Titan			
Wolfram			
Yttrium			
Zinn			

weiß = gering; hellgrau = mittel; dunkelgrau = hoch

Eigene Darstellung auf Basis der ausgewerteten Literatur (insbesondere UNEP (2011a und 2011b), European Commission (2020a und 2020b), Graedel et al. (2011), Eurometaux und Eurofer (2012)), der Expertengespräche sowie auf Basis von Internetrecherchen.



6.8 Fact Sheet: Recycling von Kunststoffverpackungen

Das Wichtigste in Kürze

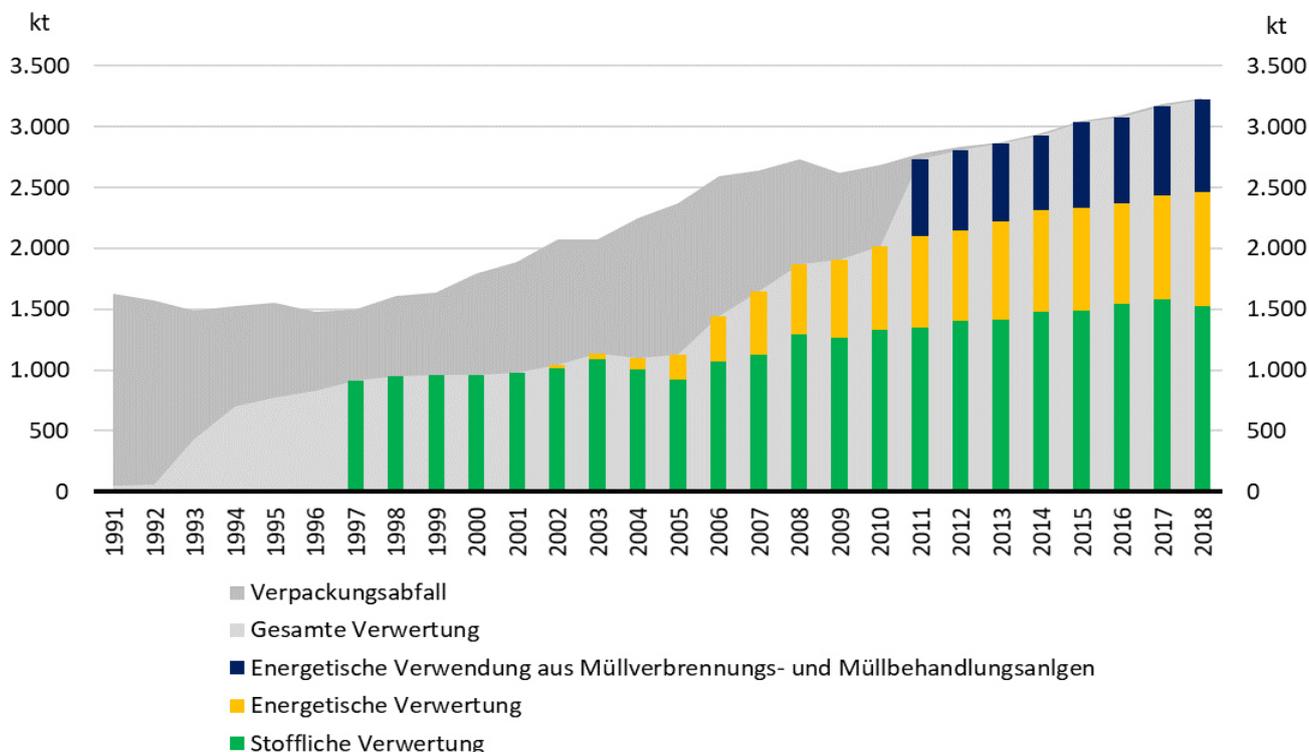
- Mit dem Dualen System hat sich mittlerweile ein funktionierendes Recycling von Kunststoffverpackungen etabliert.
- Jedoch wurde das Ideal einer Kreislaufwirtschaft noch nicht realisiert.
- Weitere Verbesserungspotenziale bestehen insbesondere bei hochwertigem Recycling, der Haushaltssammlung, dem recyclinggerechten Design von Produkten und mittelfristig der Entwicklung des chemischen Recyclings.
- Ansatzpunkte bieten hier die Weiterentwicklung des rechtlichen Rahmens, aber auch die Forschung und Realisierung von Modellprojekten.
- In NRW sind Unternehmen des gesamten Kunststoffkreislaufs von der Chemischen Industrie über die Kunststoffindustrie, die Markenartikelunternehmen, Handelsketten bis hin zur Recyclingindustrie intensiv vertreten.
- Das Land setzt Impulse in der Forschung, bei Modellvorhaben und über seinen Einfluss auf die Bundespolitik bei der Weiterentwicklung des rechtlichen Rahmens.

Recycling von Kunststoffverpackungen: Stand

Mit dem Dualen System wurden 1991 über die haushaltsnahe Sammlung und Entsorgung von gebrauchten Verkaufsverpackungen die Voraussetzungen geschaffen, eine Kreislaufwirtschaft im Bereich der Kunststoffverpackungen zu realisieren. Die Verpackungsverordnung (VerpackV) von 1991 verpflichtete die Wirtschaft, in Umlauf gebrachte Verkaufsverpackungen zurückzunehmen und für deren Verwertung zu sorgen. Mit der Novelle des Verpackungsgesetzes vom Juli 2021 erhöhen sich u.a. die zu erreichenden Verpackungsquoten. Im Laufe der Jahre wurden im Zusammenhang mit dem Dualen System zahlreiche Erfahrungen mit der Umsetzung eines regulativen Rahmens in der Abfallwirtschaft gesammelt.

Mit Blick auf Entwicklung des Kunststoffrecyclings im Verpackungsbereich von 1991 bis 2018 zeigt sich, dass das Duale System beim Recycling von Kunststoffverpackungen wichtige Schritte in Richtung einer Kreislaufwirtschaft realisiert: Es wurde ein Recyclingkreislauf geschaffen, in dem Altverpackungen gesammelt und einer Verwertung zugeführt werden. Dabei ist ein segmentierter Markt für Rezyklate entstanden. Von den im Jahr 2018 angefallenen rund 3.236 Kilotonnen (kt) Kunststoffverpackungen wurden 1.524 kt (47%) recycelt (stoffliche Verwertung). Die übrigen 1.712 kt (53%) wurden energetisch verwertet, d.h. im Rahmen von industriellen Verbrennungsprozessen genutzt.

Abb. 6.8.1: Entwicklung des Recyclings von Kunststoffverpackungen in Deutschland



Eigene Berechnungen nach Schüler (2020).

Potenziale der Kreislaufwirtschaft

Durch die Verpackungsverordnung von 1991 wurde ein Prozess in Gang gesetzt, der zu einer verbesserten technologischen Ausstattung insbesondere bei Sortieranlagen geführt hat, die bis dahin noch nicht auf dem aktuellen Stand der Technik arbeiteten. Darüber hinaus ist es zu einer Optimierung der Prozesse innerhalb der Recyclinganlagen in Hinblick auf den Durchlauf und den Output der Sortierung gekommen.

Gleichzeitig kann man davon sprechen, dass das Ziel einer Umsetzung der Kreislaufwirtschaft bislang in mehrerlei Hinsicht noch nicht erreicht wurde: Es ist noch nicht gelungen, einen Markt für qualitativ hochwertige Sekundärkunststoffe zu etablieren. Hemmnisse sind hier die zu kurz angesetzten Zeiträume, mit denen im Recyclingbereich kalkuliert wird. Für die

erforderlichen Investitionen benötigen die Unternehmen einen längeren Amortisationszeitraum. Gleichzeitig sind derzeit die Kosten für hochwertiges Rezyklat noch zu hoch, da die zu erwartenden Lernkurveneffekte durch bestehende Produktionsprozesse nicht realisiert werden konnten.

Auf Seiten der Markenartikelhersteller und Handelsketten reichen die Anreize nicht aus, um ein zirkuläres Design zu realisieren. Dieses würde einerseits zur Ressourcenschonung beitragen und andererseits dazu führen, dass Verpackungsdesigns entworfen werden, die ein Recycling erleichtern. Im Bereich der Haushaltssammlung bestehen noch erhebliche Potenziale, die durch optimierte lokale Sammelsysteme gehoben werden können. Erforderlich ist daher eine sukzessive Weiterentwicklung des bestehenden Systems durch einen weiteren Abbau der noch bestehenden Schwächen.

Abb. 6.8.2: Entwicklungen im Kunststoffrecycling für Verpackungen und Weg zur Kreislaufwirtschaft



Eigene Darstellung.

Recycling von Kunststoffverpackungen in NRW

Die Kunststoffindustrie spielt für Nordrhein-Westfalen eine zentrale Rolle:

- Ihre Aktivitäten umfassen die Gebiete Werkstoffe, Produktionsverfahren, Produkte bis zum Recycling.
- Für die Entwicklung von Innovationen wird neben Unternehmen auch die vielfältige und breit aufgestellte Forschungslandschaft in NRW eingebunden.

- Auch die vielfach mittelständischen Unternehmen der Recyclingwirtschaft nutzen diese günstigen Standortbedingungen für ihre Entwicklung.

Die Aktivitäten von NRW-Unternehmen im Bereich Kunststoffrecycling sind vielfältig. Zahlreiche diesen Bereich betreffende Aspekte finden sich z.B. in den Projektansätzen, die aus den Mitteln zur Förderung des Strukturwandels im Rheinischen Revier im Zuge der Beendigung der Braunkohleverstromung. Es dürften somit von NRW Impulse von solchen Modellvorhaben und durch den technologischen Fortschritt ausgehen.



6.9 Fact Sheet: Recycling von Traktionsbatterien aus Fahrzeugen



Das Wichtigste in Kürze

- ⇒ Wenn die Ziele erreicht werden sollen, die mit der Förderung der Elektromobilität verbunden werden, ist es erforderlich, in den kommenden Jahren ein möglichst effizientes Recyclingsystem für Traktionsbatterien aus Fahrzeugen aufzubauen.
- ⇒ Dieses Recyclingsystem wird benötigt, um spätestens ab 2030 die dann zunehmend anfallenden Altbatterien recyceln und die darin enthaltenen wertvollen Rohstoffe wieder dem Wirtschaftskreislauf zuführen zu können.
- ⇒ Der derzeit diskutierte erste Entwurf für die Batterieverordnung der EU bildet bereits einen recht guten Rahmen für diese Anstrengungen, der in den kommenden Jahren aber sukzessive weiterentwickeln ist.
- ⇒ Nordrhein-Westfalen besitzt sowohl auf Seiten der Industrie als auch der Forschung gute Voraussetzungen, um wertvolle Beiträge in Hinblick auf diese künftigen Entwicklungen zu leisten.
- ⇒ Sowohl in Hinblick auf die Batterie- als auch die Recyclingtechnologien wird derzeit intensiv geforscht. NRW verfügt insbesondere mit seinen Hochschulen und Forschungseinrichtungen über eine gut ausgebaute Forschungsinfrastruktur, die in Zukunft einen substantiellen Beitrag zur Beantwortung der derzeit noch existierenden Forschungsfragen leisten kann und leisten wird.

Stand des Recyclings von Transaktionsbatterien

Die Elektromobilität wird mit großer Intensität vorangetrieben, um dem Ziel einer CO₂-neutralen und nachhaltigen Wirtschaftsweise näher zu kommen. Dieses Ziel kann nur erreicht werden, wenn gleichzeitig ein effizientes Recyclingsystem, insbesondere für mobile elektrische Energiespeicher in Elektrofahrzeugen (Traktionsbatterien) als zentrales Element der Elektromobilität aufgebaut wird. Je nach Typ und Design können (Lithium-Ionen-basierte) Traktionsbatterien verschiedene Rohstoffe in unterschiedlicher Zusammensetzung enthalten. Wichtige Rohstoffe sind dabei u.a. Aluminium, Graphit, Kobalt, Kupfer, Lithium und Nickel.

Das Recycling von Traktionsbatterien steht zukünftig vor neuen Herausforderungen. Gleichzeitig müssen regulative Rahmenbedingungen geschaffen werden, die geeignete Anreize für einen funktionierenden Recyclingmarkt für Traktionsbatterien schaffen.

Wenn möglich werden die aus ihrer Erstnutzung ausscheidenden Batterien zunächst einer Zweitnutzung zugeführt. Effiziente Recyclingprozesse sind noch nicht etabliert, auch wenn erste Anlagen zum Recycling von Lithium-Ionen-Batterien existieren. Grund dafür ist, dass die erforderlichen Mengen an Batterien für die Etablierung effizienter Recyclingsysteme noch nicht zur Verfügung stehen (etwa 10.000 Tonnen pro Jahr). Es wird geschätzt, dass erst nach dem Jahr 2030 genügend recycelte Lithium-Ionen-Batterien für den Betrieb einer effizienten Recyclinganlage zur Verfügung stehen.

Tab. 6.9.1: Anfallen und Recycling von Lithium-Ionen-Batterien in der EU, 2025 bis 2050

Basisszenario	2025	2030	2040	2050
Recycelte Batterien (Anzahl)	1 967	20 512	437 388	3 217 697
Batterien, die in 2nd-life-Anwendungen eingehen (Anzahl)	26 960	104 810	1 466 325	3 907 179
Recycelte Lithium-Ionen-Batterien insgesamt (Tonnen)	448	5 283	97 541	590 572
Szenario mit schnellerer Verbreitung von Elektromobilität				
Recycelte Batterien (Anzahl)	69 038	425 855	4 262 493	10 035 267
Batterien, die in 2nd-life-Anwendungen eingehen (Anzahl)	26 968	173 275	2 776 099	4 646 491
Recycelte Lithium-Ionen-Batterien insgesamt (Tonnen)	449	5 715	186 335	1 113 556

Eigene Darstellung nach Element Energy Ltd.

Potenziale der Kreislaufwirtschaft

Das Recycling von Traktionsbatterien hat das Potenzial, mit entsprechenden institutionellen Rahmenbedingungen und dem Einsatz von effizienten Recyclingtechnologien einem geschlossenen Kreislauf sehr nahe zu kommen. Der Entwurf für die neue Batterieverordnung der EU stellt hierfür eine wichtige Grundlage dar. Regelungsbedarf besteht u.a. für den Rahmen für eine vollständige Sammlung aller Traktionsbatterien und die Basis für die Nutzung in möglichen 2nd-Life-Anwendungen. Entsprechende Regelungen müssten in den kommenden

Jahren immer wieder angepasst werden, um ungünstigen Entwicklungen entgegen zu wirken und neue Trends zu adaptieren. Wegen des großen Gefährdungspotenzials für Gesundheit und Umwelt ist dabei besonders der illegale Export von Batterien im Blick zu behalten.

Auf Ebene der Technologie sind bereits zahlreiche Initiativen gestartet. Hier müssen Prozesse entwickelt werden, die kostengünstig und mit möglichst geringem ökologischem Fußabdruck einen hohen Recyclinggrad für die in den Batterien enthaltenen Rohstoffe erlauben.

Abb. 6.9.1: Entwicklungen im Recycling von Traktionsbatterien und Weg hin zur Kreislaufwirtschaft



Eigene Darstellung.

Beitrag der Industrie und Forschung in NRW zum Batterierecycling

Die Etablierung eines funktionierenden und effizienten Kreislaufs im Bereich des Recyclings von Traktionsbatterien erfordert in den kommenden Jahren Optimierungen über alle Stufen des Kreislaufs hinweg. In NRW finden sich gute Bedingungen für die Entwicklung solcher Lösungen, da zentrale Akteure in den wichtigen Bereichen des Recyclings von Traktionsbatterien hier ansässig sind. Darüber hinaus finden Forschungsaktivitäten hinsichtlich der Recyclingfähigkeit von Traktionsbatterien an den Universitäten, Fachhochschulen und außeruniversitären Forschungseinrichtungen des Landes statt:

Einen Schwerpunkt für die Aktivitäten im Bereich des Recyclings von Traktionsbatterien stellt die Forschungsfertigung Batteriezelle dar, die als Institutsteil des Fraunhofer-Instituts für Produktionstechnologie IPT entsteht. Partner bei diesem Projekt sind die Fraunhofer-Gesellschaft gemeinsam mit der RWTH Aachen und dem Batterieforschungszentrum Münster Electrochemical Energy Technology an der Universität Münster. Außerdem wird am MEET Batterieforschungszentrum an der Universität Münster entlang des gesamten Wertschöpfungskreislaufs von Batterien geforscht. Einen Schwerpunkt bildet dabei auch das Recycling der Batteriematerialien und die Frage nach 2nd-life-Anwendungen.



6.10 Fact Sheet: Recycling von Elektro- und Elektronikschrott

Das Wichtigste in Kürze

- ⇒ **Elektronikschrott enthält eine Vielzahl von risikobehafteten Rohstoffen.**
- ⇒ **Das Recycling von Elektronikschrott stellt aufgrund der Heterogenität der zu diesem Oberbegriff gehörenden Produktkategorien eine erhebliche Herausforderung dar.**
- ⇒ **Deutschland und die EU sind weltweit in diesem Bereich führend. Gleichzeitig bestehen noch erhebliche Effizienzpotenziale u.a. bei der Verbesserung in der Sammlung, im recyclinggerechten Design und bei der technischen Optimierung der Recyclingprozesse.**
- ⇒ **Ansatzpunkte für eine Weiterentwicklung des Systems ergeben sich sowohl bei der Weiterentwicklung der Rahmenbedingungen als auch bei Lösung technischer Probleme im Recycling.**
- ⇒ **Unternehmen aus NRW sind auf allen Teilen der Wertschöpfungskette des Recyclings von Elektronikschrott vertreten. Gleiches gilt für die wissenschaftliche Forschung in Hinblick auf die Optimierung von Recyclingprozessen, in der Einrichtungen aus NRW einen wichtigen Beitrag leisten.**

Stand des Recyclings von Elektronikschrott

2019 fielen weltweit 53,6 Mill. Tonnen Elektro- und Elektronikschrott (nachfolgend: Elektronikschrott) an, davon 12 Mill. Tonnen in der EU. Das jährliche Wachstum der Elektronikschrottmenge beträgt zwischen 3% und 5%. In Deutschland wurden gemäß Schätzungen im Rahmen des Global E-Waste Monitor in 2019 1.607 Mill. Tonnen Elektronikschrott generiert, was einer Menge von 19,4 Kilogramm pro Einwohner und Jahr entspricht und damit oberhalb des EU-Durchschnitts liegt. Für das Recycling wurden davon etwa 837 Tsd. Tonnen gesammelt. Der Elektronikschrott stellt eine potenziell sehr wertvolle Quelle für Sekundärrohstoffe dar, die wieder in die Produktion eingehen können.

Die Produktkategorien, die nach dem *Gesetz über das Inverkehrbringen, die Rücknahme und die umweltverträgliche Entsorgung von Elektro- und Elektronikgeräten (ElektroG)* zum Elektronikschrott gezählt werden, sind sehr heterogen. Dies hat auch zur Folge, dass es für deren Behandlung und das Recycling jeweils gänzlich unterschiedliche Herausforderungen gibt. Insgesamt finden sich in Elektronikschrott mehr als 50 Metalle. Darunter sind auch Stoffe mit einem hohen Risiko in Hinblick auf die Rohstoffverfügbarkeit wie Gallium, Germanium oder Palladium. In Hinblick auf den Marktwert ist Gold der wichtigste Inhaltsstoff.

Abb. 6.10.1: Einteilung von Elektronikschrott nach Produktkategorien

1. Wärmeüberträger

u.a. Kühlschränke, Gefrierschränke, Klimageräte

2. Bildschirme, Monitore

u.a. Laptops, Flachbildschirm -Fernseher, Kathodenstrahlröhren -Monitore

3. Lampen

u.a. LED-Lampen, Kompaktleuchtstofflampen, gerade Leuchtstoffröhren

4. Großgeräte

u.a. Geschirrspülmaschinen, Waschmaschinen, Freizeitgeräte, Professionelle Werkzeuge/IT-Ausstattung

5. Kleingeräte

u.a. Haushaltskleingeräte, kleine Unterhaltungselektronik, Video - und Musiktechnik

6. Kleine Geräte der Informations- und Telekommunikationstechnik

u.a. Mobiltelefone, Spielekonsolen, Drucker, IT-Kleingeräte

Eigene Darstellung nach dem ElektroG.

Potenziale für die Kreislaufwirtschaft

Das in der EU etablierte System des Elektronikschrottrecyclings hat dazu geführt, dass im Jahr 2019 43% des Elektro und Elektronikschrotts recycelt wurde. In Deutschland lag die Sammelquote 2018 bei 43%. Ab 2019 war eine Sammelquote von 65% verpflichtend. Damit ist die EU weltweit führend beim Recycling von Elektro- und Elektronikschrott.

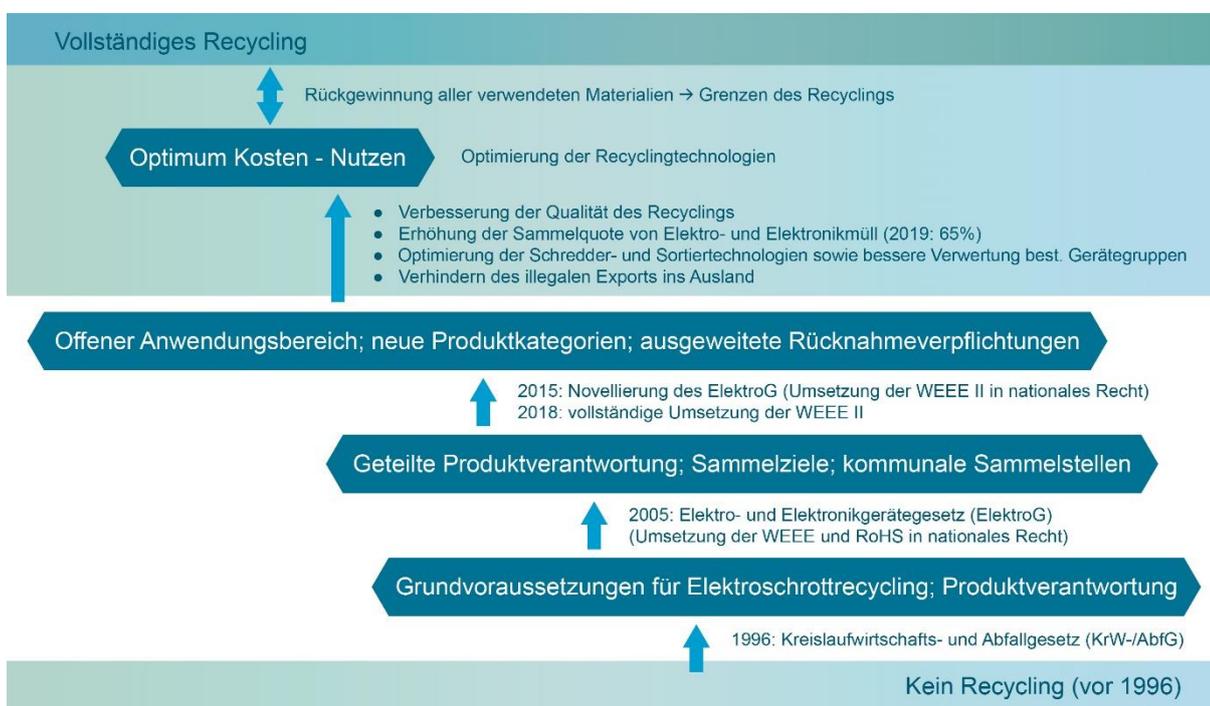
Das zukünftige Recycling von Elektro- und Elektronikschrott ist u.a. gekennzeichnet durch eine nicht vorhersehbare Entwicklung der Produkteigenschaften sowie der künftigen Produktvielfalt, außerdem durch eine große Abhängigkeit von der Entwicklung des institutionellen Rahmens.

Gleichzeitig bestehen noch erhebliche Effizienzpotenziale in mehrerer Hinsicht:

- Bei der Weiterentwicklung und Optimierung der Technologien in den Bereichen des Schredderns, der Sortierung und des Recyclings.
- In Bezug auf die Erhöhung der Sammelmenge und die Entwicklung der Verwertung bestimmter Gerätegruppen wie große Bildschirmgeräte, Photovoltaikmodule,
- Im Eindämmen illegaler Exporte von Elektronikschrott.

Wo das ökonomische Optimum in Zukunft liegt, wird insbesondere durch die Weiterentwicklung der Recyclingtechnologien bestimmt.

Abb. 6.10.2: Entwicklungen im Recycling von Elektronikschrott und Weg hin zur Kreislaufwirtschaft



Eigene Darstellung.

Beitrag der Industrie und Forschung in NRW zum Recycling von Elektronikschrott

Die Industrie in NRW weist zahlreiche Aktivitäten auf, die unmittelbar mit dem Recycling von Elektronikschrott verknüpft sind. So sind die Eisen- und Stahlindustrie sowie die Gießereien wichtige Abnehmer von Sekundärrohstoffen aus dem Recycling von Elektronikschrott. Darüber hinaus ist der Bundesverband Sekundärrohstoffe und Entsorgung in Bonn ansässig. Auch Rohstoffanbieter finden sich in NRW, die die Aufbereitung und Sortierung von gesammeltem Schrott übernehmen. Gleichzeitig finden sich in NRW Unternehmen, die sich

auf den Einkauf und das Recycling von Metallen aus Elektronikschrotten spezialisiert haben.

Geforscht wird im Bereich des Recyclings von Elektronikschrott in NRW u.a. am Institut für Metallurgische Prozesstechnik und Metallrecycling an der RWTH Aachen. Im Mittelpunkt steht dabei die Weiterentwicklung metallurgischer Recyclingprozesse für das Recycling von Basismetallen, Edelmetallen und weiteren risikobehafteten Metallen in Hinblick auf ihre Effizienz. Forschungsaktivitäten finden in NRW darüber hinaus zum chemischen Recycling von Kunststoffen statt, welches für die Kunststofffraktionen des Elektronikschrotts in Zukunft Bedeutung erlangen kann.



6.11 Fact Sheet: Recycling von Baurohstoffen

Das Wichtigste in Kürze

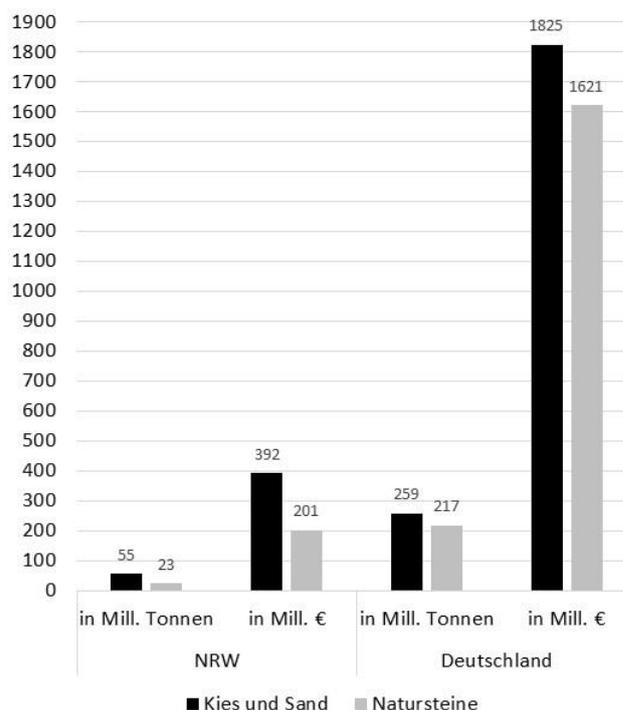
- ⇒ Der Bedarf an Baurohstoffen wie z.B. Kies und Sand sowie Natursteinen wird angesichts des erheblichen Rückstaus insbesondere bei den Infrastrukturinvestitionen und den Investitionen in den Wohnungsbau künftig aller Voraussicht nach weiter steigen.
- ⇒ Die Recyclingquote von Bauabfällen ist mit mehr als 80% zwar relativ hoch, weniger als die Hälfte der daraus resultierenden Sekundärrohstoffe ist bislang aber für den höherwertigen Einsatz beispielsweise im Hoch- und Tiefbau hinreichend geeignet.
- ⇒ Aufgrund der begrenzten Mengen an Bauschutt, Straßenaufbruch und Baustellenabfällen liegt die Substitutionsquote bei den Steine- und Erden-Rohstoffen daher bislang nur bei etwa 14%.
- ⇒ Zur Erhöhung der Substitutionsquote bei Kies und Sand sowie Natursteinen bedarf es daher großer Forschungsanstrengungen, um die Recyclingfähigkeit der Baustoffe und die künftig zum Einsatz kommenden Recyclingtechnologien zu verbessern.
- ⇒ Eine andere Form der Substitution von Baurohstoffen stellt beispielsweise im Bereich des Haus- und Wohnungsbaus der Einsatz alternativer Materialien wie z.B. Holz, Lehm, Stroh, Bambus oder Hanf dar; auch hier erfordert es intensiver Forschungsanstrengungen, um neue Werkstoffe und weitere Einsatzmöglichkeiten zu entwickeln.

Bedarf an Baurohstoffen

Im Jahr 2018 lag der Bedarf an Kies und Sand in NRW bei 55 Mill. Tonnen (deutschlandweit 259 Mill. Tonnen) und der an Natursteinen bei 23 Mill. Tonnen (deutschlandweit 217 Mill. Tonnen). Dabei konzentrierten sich die Flächen, die bislang für den Abbau von Kies und Sand bzw. Natursteinen genutzt wurden, auf die relativ konfliktfreien Räume, die in geringerem Maße vom Natur- und Wasserschutz betroffen waren. Künftig wird es aber erforderlich werden, auch in konfliktträchtigere Räume vorzustoßen, um die notwendigen Flächen für den Baurohstoffabbau sicherstellen zu können. Neben dem Natur- und Wasserschutz könnte auch die landwirtschaftliche Nutzung der Flächen einem Rohstoffabbau entgegenstehen.

Vor diesem Hintergrund rücken Möglichkeiten stärker in den Blickpunkt, mit deren Hilfe der Einsatz von primären Baurohstoffen substituiert werden kann. Dies ist auch deshalb relevant, da die künftige Nachfrage nach Baurohstoffen von der Entwicklung der Bauindustrie abhängt. Aufgrund des hohen Rückstaus sowohl bei den Infrastruktur- als auch bei den Wohnungsbauinvestitionen ist in den kommenden Jahren nämlich von einer Fortsetzung des Baubooms auszugehen. Insofern dürfte sich die Nachfrage nach den Baurohstoffen Kies und Sand sowie Natursteinen weiter erhöhen.

Abb. 6.11.1: Bedarf an Baurohstoffen im Jahr 2018



Eigene Darstellung nach Angaben von vero.

Recycling- und Substitutionsquote

Die Recyclingquote von Bauabfällen liegt im Durchschnitt bereits heute bei über 80%. Die Recyclingmaterialien resultieren dabei vornehmlich aus Bauschutt, Straßenaufbruch und Baustellenabfällen. Von den daraus resultierenden Sekundärrohstoffen gelangen allerdings weniger als die Hälfte als Ersatzbaustoff für anspruchsvolle Einsatzbereiche im Hoch- und Tiefbau. Künftig sind daher beim Recycling Verbesserungen hinsichtlich der Qualität der Sekundärrohstoffe erforderlich, damit diese in höherem Maße in qualitativ höherwertigen Anwendungen zum Einsatz kommen können.

Als Kenngröße noch bedeutsamer als die Recyclingquote ist die Substitutionsquote. Diese gibt an, wie hoch der Anteil am gesamten Baurohstoffbedarf ist, der durch Sekundärrohstoffe gedeckt werden kann. Sie liegt bei Steine- und Erden-Rohstoffen derzeit bei etwa 14%. Die im Vergleich zur Recyclingquote recht niedrige Rate hängt damit zusammen, dass meist nicht genügend Sekundärmaterialien aus dem Abbruch von Gebäuden und Infrastruktur zur Verfügung stehen.

Beispielsweise werden erneuerungsbedürftige Straßen inzwischen aus Kostengründen nicht mehr ausgebaut, sondern lediglich neue Beläge über die bereits bestehenden gelegt, so dass hier nur vergleichsweise wenig Abraum anfällt. Vielfach erfüllen sie aber auch nicht die erforderlichen technischen Normen z.B. in Bezug auf die Körnung und weiterer Eigenschaften, sodass sie mitunter lediglich der Aufschüttung von Halden und Abgrabungen dienen können.

Wie sich die Substitutionsquote künftig entwickeln wird, hängt u.a. von der Entwicklung der Abfallmengen sowie der Recyclingfähigkeit der Baumaterialien und der Weiterentwicklung der Recyclingtechnologien ab. Es geht also nicht nur um eine weitere Erhöhung der Recyclingquote von Bauschutt und Bauabfällen, sondern vor allem um qualitative Verbesserungen.

2018 lag in NRW der Output der gut 300 Bauschuttaufbereitungsanlagen bei knapp 14 Mill. Tonnen (etwa ein Fünftel des gesamtdeutschen Aufkommens von 69 Mill. Tonnen). Sollte es gelingen, die Aufbereitung künftig noch weiter zu verbessern, wäre es Schätzungen zufolge bis zur Mitte dieses Jahrhunderts möglich, rund ein Drittel der Nachfrage nach Kies und Sand durch Sekundärmaterialien zu decken und dadurch den Einsatz von Primärmaterialien stärker zu substituieren.

Dies setzt aber weitere Forschungsanstrengungen voraus, die im Sinne zirkulärer Designs zu einer Erhöhung der Recyclingfähigkeit der in der Bauindustrie verwendeten Materialien und einer Verbesserung der Recyclingtechnologien führen. Gleichwohl wird die Bauindustrie aber auch auf längere Sicht noch auf Primärmaterialien angewiesen bleiben.

Einsatz alternativer Baumaterialien

Eine andere Möglichkeit, klassische Baurohstoffe wie z.B. Beton zu substituieren, ist der Einsatz alternativer Baumaterialien. Diese können vor allem beim Bau von Häusern und Wohnungen verwendet werden. Bei diesen alternativen Baumaterialien handelt es sich beispielsweise um Holz, Lehm oder biobasierte Werkstoffe wie Stroh, Bambus oder Hanf.

Die künftige Nutzung alternativer Baumaterialien steht im Zusammenhang zur Entwicklung des Haus- und Wohnungsbaus, ihr Einsatz steigt allerdings nicht proportional. Maßgebend sind auch die Eigenschaften der alternativen Baumaterialien (z.B. in Bezug auf Witterungsbeständigkeit) und deren Preise in Relation zu denen der herkömmlichen Baumaterialien. Darüber hinaus wird die Nachfrage von den individuellen Präferenzen der Nachfrager beeinflusst.

Von erheblicher Relevanz in Hinblick auf die künftige Nachfrage nach alternativen Baumaterialien und die Preisdifferenzen zu den klassischen Baumaterialien wird vor allem die Forschung sein, da hierdurch die Einsatzmöglichkeiten dieser Materialien erweitert und neue Werkstoffe entwickelt werden können. Seitens der Landesregierung sollte diese Entwicklung daher durch eine entsprechend ausgerichtete Forschungsförderung flankiert und unterstützt werden.

Die künftige Nachfrage nach alternativen Baumaterialien wird aber auch durch die Verfolgung des Ziels, bis zum Jahr 2050 alle Gebäude in NRW in Hinblick auf die Erreichung von Klimaneutralität zu sanieren, beflügelt werden. Alternative Baumaterialien dürften daher in NRW perspektivisch an Bedeutung gewinnen, wobei es künftig noch zusätzliche alternative Werkstoffe und weitere Einsatzmöglichkeiten geben dürfte.

Zu erwarten ist daher alles in allem, dass im Bereich des Haus- und Wohnungsbaus der Einsatz alternativer Baumaterialien im Vergleich zu dem der klassischen Baumaterialien überproportional steigen wird.



6.12 Fact Sheet: Ziele, Optionen und Ansatz der NRW-Rohstoffpolitik

Das Wichtigste in Kürze

- ⇒ Die Rohstoffpolitik tangiert mehrere Politikfelder, da sie ein relativ breites Themenfeld adressiert, von der Versorgung mit Importrohstoffen, über die mit heimisch geförderten Rohstoffe bis hin zu der mit Sekundärrohstoffen sowie der Etablierung einer nachhaltigen Kreislaufwirtschaft.
- ⇒ Vor diesem Hintergrund ist es wichtig, zunächst einmal die Politikziele zu benennen, woraus sich bereits auf die Ebenen der politischen Zuständigkeiten schließen lässt.
- ⇒ Darauf aufbauend ist die Frage zu klären, woraus sich ein rohstoffpolitischer Handlungsbedarf ableiten lässt und welche politischen Handlungsoptionen es im Allgemeinen und für NRW im Speziellen gibt.
- ⇒ Auf dieser Grundlage ist dann ein Ansatz für NRW herzuleiten, der alle rohstoffrelevanten Aspekte aufgreift und in ein Gesamtkonzept mit Blick auf die strategische Ausrichtung der NRW-Rohstoffpolitik überführt.

Ziele der NRW-Rohstoffpolitik

Mit der NRW-Rohstoffpolitik werden insbesondere die folgenden Ziele verfolgt:

- Vermeidung von Lieferengpässen bei Importen risikobehafteter Primärrohstoffe,
- Sicherstellung einer ausreichenden und nachhaltigen heimischen Primärrohstoffförderung,
- Senkung des Primärrohstoffbedarfs und Erhöhung der Rohstoffeffizienz,
- Verbesserung der Recyclingfähigkeit der Produkte und Steigerung der Verfügbarkeit von Sekundärmaterialien,
- Verbesserung der Recyclingtechnologien und Erhöhung der Recyclingkapazitäten,
- Erhöhung des Sekundärrohstoffeinsatzes und Etablierung einer nachhaltigen Kreislaufwirtschaft.

Rohstoffpolitische Handlungsoptionen

Das rohstoffpolitische Leitmotiv für NRW sollte sein, dass die Hauptverantwortung für die nachhaltige Sicherung der Rohstoffversorgung mit Rohstoffen bei der Industrie bzw. den rohstoffnachfragenden Unternehmen liegt. Der grundsätzliche ordnungspolitische Rahmen wäre dann ein marktwirtschaftlicher Ansatz auf Basis eines freien Handels und eigenverantwortlicher Entscheidungen der betroffenen Akteure. Es können aber Umstände eintreten, die einen rohstoffpolitischen Handlungsbedarf begründen:

- internationale Handelskonflikte im Rohstoffbereich und große Marktmacht einzelner rohstofffördernder Länder,
- Verknappung von Importrohstoffen aufgrund von Nachfragesteigerungen infolge disruptiver Technologien,
- steigende Anforderungen in Hinblick auf sozial- und umweltgerechte Lieferketten,
- divergierende Flächennutzungsansprüche in Bezug auf die Förderung heimischer Rohstoffe,
- notwendige Verbesserungen der Produktdesigns, der Wertstoffsammlung und der Recyclingtechnologien,
- Ausbau der Kapazitäten von Anlagen zur Aufbereitung von Sekundärmaterialien zu Sekundärrohstoffen,
- Sicherung und Verwertung von Sekundärmaterialien in Produkten am Ende ihrer Lebensphase (PKW, Handys, PC-Bildschirme, Batterien, Windkraftträder usw.).

Handlungsbedarf kann letztendlich in allen Bereichen der Rohstoffpolitik entstehen (Importrohstoffe, heimisch geförderte Rohstoffe, Sekundärrohstoffe) und auf allen Ebenen (WTO-, OECD-, EU-, Bundes- oder NRW-Ebene). Die NRW-Rohstoffpolitik sollte sich dabei nicht nur an den Stellen einbringen, an denen ihre Einflussmöglichkeiten unmittelbar gegeben sind, sondern auch dort, wo eigentlich andere Institutionen zuständig sind, NRW aber aufgrund seiner Größe und wirtschaftlichen Bedeutung auf die dort zu treffenden Entscheidungen einwirken kann. Vor diesem Hintergrund ergeben sich die folgenden grundsätzlichen Handlungsoptionen:

- Einbringung in nationale und supranationale Rohstoffregulierungen, -initiativen und -aktivitäten,
- Flankierung von Maßnahmen zur Rohstoffsicherung,
- Setzung rohstoffpolitischer Rahmenbedingungen (Anreize, Vorgaben, raumplanerische Maßnahmen usw.),
- Abbau bürokratischer Hemmnisse für Unternehmen im Rohstoffsektor und der rohstoffverarbeitenden Industrie,
- Förderung der rohstoffrelevanten Forschung und Entwicklung, von Rohstoffpotenzialanalysen und Pilotstudien sowie von Demonstrationsanlagen,
- Intensivierung des Dialogs mit Stakeholdern im Rohstoffbereich (Wissenschaft, Wirtschaft, Verbände),
- Information, Kommunikation, (Schul-)Bildung und Beratung zwecks Bewusstseinsbildung z.B. bei den Themen Rohstoffe, Recycling und Kreislaufwirtschaft.

Strategischer Ansatz der NRW-Rohstoffpolitik

Darauf aufbauend ergibt sich für die Sicherung der Rohstoffversorgung in NRW der folgende strategische Ansatz:

- **Schaffung alternativer Bezugsquellen für risikobehaftete Importrohstoffe:** Bei vielen strategisch wichtigen metallischen Primärrohstoffen ist die Importabhängigkeit hoch, zudem wird die weltweite Nachfrage nach einigen dieser Rohstoffe künftig stark steigen. Insofern ist es sinnvoll, die Bezugsquellen der Rohstoffbeschaffung stärker zu diversifizieren. Dies umfasst die Unterstützung von Anstrengungen in anderen Ländern, die sich bisher weniger in Bezug auf die Förderung dieser Rohstoffe hervorgetan haben, vorhandene Vorkommen zu explorieren. Mit diesen Ländern sollten dann Rohstoffpartnerschaften eingegangen und frühzeitig Lieferverträge abgeschlossen werden, wobei hierbei auch den Unternehmen eine besondere Verantwortung zukommt. Dies gilt auch für Länder, die bereits entsprechende Rohstoffe fördern, mit denen aber noch keine Rohstoffpartnerschaften oder Lieferverträge abgeschlossen wurden. Risikobehaftete Rohstoffe könnten des Weiteren auch durch die Wiederaufnahme stillgelegter bzw. die Exploration neuer eigener Lagerstätten (in NRW, eher aber in anderen Bundes- bzw. EU-Ländern), durch *Urban Mining* (Rückgewinnung von Rohstoffen aus kartierten Deponien und Abraumhalden) und durch das Recycling (rück-)gewonnen werden.
- **Sicherung heimisch geförderter Primärrohstoffe:** Es wird künftig schwieriger werden, die Versorgung mit heimisch geförderten Rohstoffen sicherzustellen, da sich die Aufsuchung von übertägigen Rohstoffvorkommen teilweise auf Flächen verlagern wird, die von stärkeren Nutzungs- und Schutzanforderungen geprägt sind. Daher kommt es zu steigenden Konflikten etwa durch konkurrierende Flächennutzungen (Siedlungs- und Verkehrs- oder land- bzw. forstwirtschaftlich genutzte Flächen) sowie durch den Natur- und Wasserschutz. Hier könnte es künftig zu Engpässen bei den Rohstoffen kommen, die einerseits transportkostensensibel sind und daher eine möglichst flächendeckende Bereitstellung erfordern, für die andererseits aber auch mit einer steigenden Nachfrage zu rechnen ist, wie das beispielsweise für Kies und Sand der Fall sein könnte. Wie schnell es bei Baurohstoffen zu Engpässen kommen kann, hat gerade erst das Jahr 2021 gezeigt. Dies sollte die künftige Landes- und Regionalplanung daher im Auge behalten.
- **FuE-Förderung von Recyclingtechnologien:** Hierdurch soll die technologische Einsetzbarkeit und Wirtschaftlichkeit des metallurgischen Recyclings verbessert werden. Zur Finanzierung bietet sich die stärkere Nutzung von Horizont 2020, von EFRE und von Bundesprogrammen an, die gezielt durch NRW-Landesprogramme ergänzt werden sollten. An der Stelle wäre auch zu überlegen, die Mittel im Rahmen des Programms zur Soforthilfe für das Rheinische Revier und die künftige Verwendung der Mittel für die Strukturhilfen stärker in dem Sinne auszurichten (einige Aktivitäten in Hinsicht auf die Weiterentwicklung von Recyclingtechnologien wurden hier bereits entfaltet).
- **Sekundärrohstoffe und Kreislaufwirtschaft:** Besonderes Gewicht sollte beim Inverkehrbringen neuer Produkte auf deren Recyclingfähigkeit gerichtet werden (*zirkuläres Design*). Zudem müssen die Mengen der Sekundärmaterialien deutlich erhöht werden (Steigerung der Sammelquoten, Verringerung der Schrottexporte usw.), parallel dazu aber auch die Kapazitäten der Recyclingwirtschaft, da ansonsten lediglich Halden entstehen, die keinen Nutzen mit sich bringen, sondern nur eine Verlagerung des Entsorgungsproblems. Zwar ist die Umsetzung der Kreislaufwirtschaft in einigen Bereichen schon recht weit gediehen, in den meisten gibt es bezüglich der Schließung von Stoffkreisläufen aber noch Nachholbedarf.
- **Wiederherstellung und Ausbau der rohstofflichen Expertise:** Die entsprechende Expertise etwa in den Bereichen Rohstoffe, Mineralurgie und Metallurgie wurde in den zurückliegenden zwei Jahrzehnten an den Hochschulen von NRW tendenziell zurückgefahren. Diesen Trend gilt es nicht nur zu stoppen, sondern umzukehren, um verlorenes gegangenes Know-how in den genannten sowie in weiteren Bereichen (z.B. in Bezug auf das Recycling und die Schließung von Stoffkreisläufen) wieder zurückzugewinnen bzw. neu aufzubauen. Dies schließt auch die Bergbauforschung im Energiebereich mit ein, die einerseits in die Forschung hinsichtlich der Förderung heimischer mineralischer Rohstoffe integriert, andererseits für den Technologietransfer genutzt werden sollte.
- **Abstimmung mit anderen Rohstoffpolitiken und -strategien sowie Unterstützung von Rohstoffallianzen:** Die Setzung rechtlicher Rahmenbedingungen, die Schaffung ökonomischer Anreize und weitere Maßnahmen im Rahmen der NRW-Rohstoffpolitik sollten möglichst gut mit der Rohstoffpolitik auf der Bundes- und EU-Ebene abgestimmt werden und sich in die jeweiligen Rohstoffstrategien auf der nationalen und supranationalen Ebene einfügen. Insbesondere die Abstimmung mit der Rohstoffstrategie der Bundesregierung und den Leitlinien und Maßnahmen zur Förderung einer nachhaltigen Rohstoffpolitik des Forums für Bergbau, Minerale, Metalle und nachhaltige Entwicklung sollten dabei berücksichtigt werden. Sinnvoll wäre auch, die verschiedenen Rohstoffallianzen aktiv zu unterstützen, wie z.B. die Europäische Rohstoffallianz, die Europäische Batterieallianz oder die Allianzen für die Grundstoffindustrie.



6.13 Fact Sheet: Maßnahmen zur Sicherung der Versorgung mit importierten metallischen Primärrohstoffen

Das Wichtigste in Kürze

- ⇒ Im Folgenden werden Maßnahmen zur Sicherung der Versorgung mit importierten Primärrohstoffen aufgezeigt, durch die NRW mit Hilfe seiner Vernetzung mit nationalen und multinationalen Gremien oder Einrichtungen mittelbar, teilweise aber auch unmittelbar einwirken kann:
- ⇒ Sie reichen von der Offenhaltung der Rohstoffmärkte, der Ausweitung der Primärrohstoffgewinnung, dem Schmiedern von Rohstoffallianzen, einer Vorratshaltung zur Absicherung von Lieferketten, der Absicherung gegen Preisrisiken bis hin zur Diversifizierung von Lieferquellen.

Offenhaltung der Rohstoffmärkte

Da die Lieferketten bei den meisten metallischen Rohstoffen weltweit aufgestellt sind, kommt dem uneingeschränkten Zugang zu offenen, freien und funktionsfähigen Rohstoffmärkten eine große Bedeutung zu. Es gilt dabei insbesondere die tarifären Handelshemmnisse etwa in Form von Zöllen, aber auch nichttarifäre Handelsbarrieren wie z.B. Ausfuhrbeschränkungen der rohstoffliefernden Länder zu beseitigen. Dazu tragen multinationale Handelsabkommen auf der Ebene der WTO, der OECD oder der EU bei, aber auch zwischenstaatliche Handelsverträge oder strategische Rohstoffpartnerschaften mit ausgewählten rohstofffördernden Ländern.

Das Eingehen weiterer Rohstoffpartnerschaften sollte NRW unterstützen, wenn sie Rohstoffe betreffen, die für die Industrie von besonderer strategischer Bedeutung sind. Dabei handelt es sich um bilaterale Verträge mit Rohstoffförderländern, die einen Rahmen für Vertragsabschlüsse der Unternehmen bilden. Der Abschluss von Lieferverträgen ist dann Aufgabe rohstoffnachfragender (Handels-)Unternehmen. Dabei geht es um die physische Lieferung der Rohstoffe, aber auch um die Vereinbarung der Lieferkonditionen in Bezug auf Menge, Preis, Qualität und den Zeitpunkt der Lieferung.

Ausweitung der Primärrohstoffgewinnung

Initiativen, die darauf abzielen, die Primärrohstoffgewinnung in Bezug auf metallische Rohstoffe anzustoßen bzw. auszuweiten, gibt es auch in Deutschland. So wird etwa im Erzgebirge die Förderwürdigkeit von Vorkommen der Seltenerdenmetalle untersucht und Lithium bereits gefördert. Das betrifft beispielsweise auch die Geothermie-Werke am Oberrhein, die unter geänderten ökonomischen Vorzeichen demnächst eventuell Lithium gewonnen werden könnten. Zudem kommt eine Förderung von Bodenschätzen in der Tiefsee in Betracht, woran auch die Bundesregierung beteiligt ist. Vor allem beziehen sich solche Initiativen, durch welche die Abhängigkeit der EU von Importen metallischer Rohstoffe aus Nicht-EU-Ländern verringert werden soll, aber in erster Linie auf andere EU-Länder (z.B. Portugal, Skandinavien oder Grönland).

NRW sollte diese Entwicklungen sehr genau verfolgen und über sein Netzwerk in der EU auch begleiten. Aufgrund der ausgewiesenen Bergbaukompetenzen in NRW käme ein Technologie- und Personaltransfer in Betracht, um diese Initiativen auch aktiv zu unterstützen. Auf dem Wege könnte auch auf die Primärrohstoffgewinnung außerhalb der EU eingewirkt werden, indem z.B. Unterstützung bei der Identifizierung von Rohstoffquellen und bei deren Erschließung geleistet wird. Dies kommt insbesondere dann in Betracht, wenn zu den Förderländern gute Beziehungen gepflegt werden, etwa durch Rohstoffpartnerschaften, sodass dann auch mit einer verlässlichen Rohstofflieferung zu rechnen wäre. Die Neuexploration in NRW bezieht sich dagegen eher auf Baurohstoffe und Industriemineralien, die Gewinnung von metallischen Rohstoffen dagegen ausschließlich auf Sekundärrohstoffe.

Schmieden von Rohstoffallianzen

Geopolitische Rohstoffstrategien in Form von strategischen Beteiligungen an Rohstoffunternehmen stellen in westlichen Industrieländern keine staatliche Aufgabe ist. Diese Art von Direktinvestitionen kommt eher für inländische Unternehmen infrage. Direktinvestitionen durch setzen das Vorhandensein staatlicher Rohstoffunternehmen voraus, die es in NRW und auch dem restlichen Deutschland bislang nicht gibt. Rohstoffnachfragende Unternehmen könnten aber auch eigene Bergwerke betreiben (vertikale Integration). Da dies mit hohen Investitionen verbunden, lässt sich dies kaum von einzelnen Unternehmen bewerkstelligen, sondern eher durch eine Kooperation mehrerer Unternehmen. Bei Bedarf könnte NRW beim Schmieden solcher Allianzen Unterstützung leisten.

Vorratshaltung zur Absicherung von Lieferketten

Eine Möglichkeit zur Absicherung gegen Versorgungs- und Preisrisiken von strategisch besonders wichtigen Rohstoffen, die schwer zu substituieren sind, kann eine Lagerhaltung darstellen. Zu bedenken ist aber, dass diese mit nicht unerheblichen Kosten und einer Kapitalbindung verbunden ist. Eine staatlich alimentierte Lagerhaltung von Rohstoffen ist nicht sinnvoll, da es sich dabei um eine Subventionierung von Unternehmen handeln würde. Der ökonomische Nutzen wäre zudem zweifelhaft, da die Kurve der Preisentwicklung lediglich geglättet, zugleich aber auch nach oben verschoben wird. Der Aufbau von Lagerbeständen durch staatlich finanzierte Rohstoffgesellschaften sollte aber, wenn überhaupt, auf wenige, strategisch besonders wichtige und stark risikobehaftete Rohstoffe beschränkt bleiben. Unternehmen sollten ansonsten eigene Lagerhaltung betreiben. Durch Anpassungen des Steuerrechts ließe sich beispielsweise vermeiden, dass die von Unternehmen beschafften Rohstoffvorräte zum Aufbau von Umlaufvermögen führen, das sich erst bei der Nutzung der Rohstoffe ertragswirksam auswirken würde, stattdessen könnte die Bildung einer Rücklage für bestimmte Rohstoffe zu einem sofortigen Betriebsausgabenabzug berechtigen.

Absicherung gegen Preisrisiken durch Hedging

Beim Hedging handelt es um ein Warentermingeschäft, das die Lieferung eines Rohstoffs zu einem künftigen Zeitpunkt zu einem bestimmten Preis festlegt. Durch dieses Preissicherungsgeschäft, das z.B. über die *London Metal Exchange* abgewickelt werden kann, sinkt somit das Preisrisiko. Ein strategisches Hedging nutzen daher viele Unternehmen zur Absicherung gegen Preisschwankungen bei Rohstoffen. Zwar ist die Kapitalbindung für ein strategisches Hedging gering, gleichwohl sind hiermit auch einige Nachteile verbunden. Zunächst einmal bedarf es eines gewissen Know-hows und eines entsprechenden Zugangs zum Finanzmarkt, um eine effektive Hedging-Strategie überhaupt realisieren zu können. Weiterhin ist jede Form des Hedgings mit Kosten verbunden, da es sich um eine Art Versicherung gegen Preisschwankungen handelt. Eine noch so ausgeklügelte Hedging-Strategie kann im Übrigen nicht vor langfristig eintretenden Preisanstiegen und auch nicht vor Lieferausfällen schützen. Für rohstoffnachfragende Unternehmen wäre die Vermittlung seitens der NRW-Landesregierung von einer entsprechenden Beratung hilfreich.

Diversifizierung von Bezugsquellen und Abschluss langfristiger Lieferverträge

Unternehmen, die sich um die Rohstoffsicherung kümmern, weisen häufig geringere Wettbewerbsnachteile gegenüber Konkurrenten aus rohstoffreichen Förderländern auf, als Unternehmen, die das nicht tun. Das liegt daran, dass letztere den teilweise anzutreffenden Marktverzerrungen auf den Rohstoffmärkten stärker ausgesetzt sind. Diese Verzerrungen kommen dadurch zustande, dass Unternehmen in den Förderländern diverse Vergünstigungen zukommen, etwa eine Rohstoffversorgung zu günstigeren Konditionen, Subventionen und dergleichen. Soweit diese Unternehmen mit denen in Deutschland konkurrieren, resultieren daraus Wettbewerbsnachteile. Wenn es sich bei dem Förderland um einen Staat mit einem geringen Anteil am weltweiten Bruttoinlandsprodukt handelt, spielt das möglicherweise keine so entscheidende Rolle, wenn es aber um große Förderländer mit einem vergleichsweise hohen Anteil am BIP wie z.B. China geht, ist das ein durchaus wesentlicher Wettbewerbsfaktor.

Unternehmen können für eine Diversifizierung der Bezugsquellen zur Deckung ihres Rohstoffbedarfs und den Abschluss von Lieferverträgen mit Rohstofflieferanten sorgen. Unternehmen mit einer diversifizierteren Lieferantenstruktur und guten Beziehungen zu ihren Lieferanten sind somit von den Rohstoffrisiken weniger betroffen. Es ist daher sehr wichtig, sich nicht zu von nur einen einzigen Lieferanten abhängig zu machen, da dann für den Fall, dass dieser seinen Lieferverpflichtungen nicht mehr nachkommen kann, kurzfristige Produktionsausfälle drohen. Aus Sicht der Versorgungssicherheit ist

es daher ratsam, gerade bei besonders risikobehafteten Importrohstoffen über mehrere Lieferquellen zu verfügen.

Der Abschluss von Lieferverträgen hat den Vorteil, dass sowohl die Liefermengen als auch die Preiskonditionen bis zu einem gewissen Grad fixiert werden oder zumindest Preisgleitklauseln bzw. Preiskorridore vereinbart werden können. Vertragliche Vereinbarungen ermöglichen es zudem, im Falle einer Zuwiderhandlung von einem der Vertragsparteien rechtliche Schritte einleiten zu können, was ebenfalls der Erhöhung der Versorgungssicherheit dient. An der Stelle greifen dann ggf. auch die Maßnahmen zur Rohstoffsicherung der Bundesregierung, wie z.B. die Garantien für ungebundene Finanzkredite, die langfristige Lieferverträge von deutschen Unternehmen gegen Kredit- und Lieferausfallrisiken absichern.

Sollte sich herausstellen, dass mehr Rohstoffe benötigt werden als ursprünglich vereinbart, weil z.B. der Absatz des nachfragenden Unternehmens höher ausfällt als erwartet oder neue Technologien etabliert werden, die mehr Rohstoffe erfordern, ist das ein weiterer Grund, die Lieferantenstruktur von vorneherein zu diversifizieren, denn es kann dann sein, dass einer der Lieferanten nicht in der Lage ist, die Rohstofflieferungen auszuweiten oder dafür nicht akzeptable Konditionen einfordert. Um mehr Marktmacht auf der Seite der rohstoffnachfragenden Unternehmen zu erzeugen, kann es im Übrigen sinnvoll sein, dass sich Unternehmen beim Abschluss von Lieferverträgen zusammenschließen. Dies wäre auch ein Ansatzpunkt für den Abschluss von Rohstoffpartnerschaften und einen Informationsaustausch mit ausgewählten Förderländern.

Bei der Suche nach alternativen Beschaffungswegen könnte das Land NRW seinen Unternehmen unterstützen. Dies kann durch Vermittlung von Kontakten zu Unternehmen erfolgen, die hier bereits erfolgreich waren. Zudem könnte auf entsprechende Angebote bei der Deutschen Rohstoffagentur (DERA) verwiesen werden, die u.a. zur Information und Beratung von Unternehmen in Rohstofffragen gegründet wurde. Die DERA kann auch Kontakte zu den Kompetenzzentren für Bergbau und Rohstoffe herstellen, die an Außenhandelskammern einiger ausgewählter Länder eingerichtet wurden, um deren Hilfestellung zu erbitten. Hilfreich sein könnte in dem Zusammenhang auch das *German Mining Network* – Internationale Bergbau- und Rohstoffkompetenz für deutsche Unternehmen.

Zur Identifizierung neuer Lieferquellen sollten Unternehmen Unterstützung durch Politik, aber auch die Wissenschaft erhalten (z.B. die Universitäten Aachen, Bochum und Dortmund, Fachhochschulen und außeruniversitäre Forschungseinrichtungen). Zudem könnte die Energieagentur NRW eingebunden werden, etwa in Bezug auf die Kooperationsanbahnung zum nachhaltigeren Bergbau in ausgewählten Förderländern durch einen Transfer von Wissen und Bergbaumaschinen.



6.14 Fact Sheet: Maßnahmen zur Sicherung einer nachhaltigen Förderung heimischer Rohstoffe

Das Wichtigste in Kürze

- ⇒ NRW verfügt zwar in Bezug auf metallische Rohstoffe über keine bedeutenden Lagerstätten, sodass diese weitgehend importiert werden müssen, dafür werden aber aus Locker- und Festgesteinen verschiedene mineralische Rohstoffe gewonnen, die für die Versorgung der Industrie zum Teil von zentraler Bedeutung sind.
- ⇒ Das hängt auch damit zusammen, dass es sich dabei mitunter um transportkostensensible Rohstoffe handelt, wie z.B. Kies und Sand, die zu den maßgeblichen Baurohstoffen für den Aufbau der Infrastruktur sowie den Wohnungsbau zählen, darüber hinaus gibt es aber auch eine Vielzahl weiterer wichtiger Rohstoffe.
- ⇒ Im Folgenden werden ausgewählte Maßnahmen aufgezeigt, mit deren Hilfe die künftige Versorgung der Industrie mit heimisch geförderten Rohstoffen nachhaltig gesichert werden kann, wie der Erschließung neuer Lagerstätten in NRW, der Optimierung der Zulassungsverfahren, der Sicherstellung der Nachfolgenutzung nach dem Ende des Rohstoffabbaus, der Veröffentlichung geologischer Daten, der Förderung von Rohstoffabbautechnologien sowie Information und Aufklärung.

Erschließung neuer Lagerstätten in NRW

In NRW erfolgt die Festlegung eines landesweit einheitlichen Rahmens für die raumverträgliche Steuerung der Rohstoffsicherung durch den Landesentwicklungsplan NRW. Dabei soll bei räumlichen Planungen die Standortgebundenheit und Begrenztheit der Rohstoffvorkommen, die Substitution primärer Rohstoffe durch Recyclingrohstoffe und ein möglichst natur- und umweltschonender Rohstoffabbau Berücksichtigung finden. Mit dieser Festlegung werden andere raumbedeutsame Funktionen oder Nutzungen in diesen Bereichen ausgeschlossen, soweit diese mit den vorrangigen Funktionen der Rohstoffsicherung und -gewinnung nicht vereinbar sind. Dabei werden die Regionalplanungsbehörden dazu verpflichtet, bestimmte Versorgungszeiträume über die flächenmäßige Festlegung von Vorranggebieten zu gewährleisten. Das bedeutet, dass sukzessive neue Lagerstätten aufgesucht und erschlossen werden müssen, um die Rohstoffbasis zu erweitern.

Trotz dieser Festlegungen in den Regionalplänen können in den nachfolgenden Genehmigungsverfahren vereinzelt örtliche Konflikte erkennbar werden, die eine Nutzung dieser Flächen für den Rohstoffabbau nicht in vollem Umfang zulassen. In der Rohstoffstrategie der Bundesregierung werden die Bundesländer zudem dazu angehalten, dass bei der Verankerung von Rohstoffvorkommen in ihren Regional- und Landesplänen auch „länderübergreifende rohstoffspezifische Bedarfe berücksichtigt werden“. Den Trägern der Regionalplanung wird alternativ die Möglichkeit eingeräumt, in den Regionalplänen nicht mehr durchgängig Vorranggebiete mit der Wirkung von Eignungsgebieten festzulegen (Konzentrationswirkung). Die

Sicherung von Vorranggebieten verbunden mit einer Konzentrationswirkung bedeutet, dass außerhalb dieser Vorranggebiete in der Regel keine Rohstoffgewinnung zugelassen wird. Dies wird dazu führen, dass über die Beantragung von Rohstoffgewinnungsflächen künftig flexibler und zügiger entschieden werden kann.

Im Rahmen der Landes- und Regionalplanung wird angestrebt, möglichst konfliktfreie Standorte für die Rohstoffgewinnung auszuwählen und diese in Abwägung mit anderen räumlichen Nutzungs- und Schutzanforderungen für die Rohstoffsicherung und -gewinnung zu nutzen. Dabei wird aus ökonomischen und ökologischen Gründen häufig der Erweiterung bestehender Abgrabungsbereiche ein Vorzug gegenüber einem Neuaufschluss gegeben. Ungeachtet dessen kann es auf der Zulassungsebene zu einer notwendigen Klärung von fachlichen Detailfragen kommen (insbesondere in Bezug auf den Natur- und Landschaftsschutz, den Grundwasser- und Gewässerschutz sowie immissionsschutzrechtliche Schutzansprüche), die zu Verzögerungen und in Einzelfällen auch einer Versagung von Abgrabungsanträgen führen können.

Im Jahr 2019 waren 17% der Gesamtfläche von NRW Siedlungsflächen und 7% Verkehrsflächen, 72% waren land- und forstwirtschaftlich genutzte Flächen und je 2% sonstige Vegetationsflächen und Gewässerflächen. Auf den drei Vierteln der Gesamtfläche, die potenziell für eine Rohstoffförderung infrage kämen, waren 8% der Gesamtfläche als Naturschutzgebiete ausgewiesen, 16% als Wasserschutzgebiete und 42% als Landschaftsschutzgebiete. Perspektivisch wird es erforderlich, die Nutzung von Rohstoffvorkommen auch auf Standorte auszuweiten, die weniger konfliktfrei als die derzeit in Produktion befindlichen sind, was insbesondere in Bezug auf die Baurohstoffe im Blick behalten sollte, da diese transportkostensensibel sind und künftig voraussichtlich noch stärker nachgefragt werden.

Unter Versorgungsgesichtspunkten und auch aus wirtschaftlichen Gründen sollte bei der Ausweisung von Vorrangflächen für die Rohstoffsicherung aber weiterhin ein Fokus auf eine hinreichende Rohstoffmächtigkeit gerichtet werden. Letztendlich sind nämlich nur Abgrabungen sinnvoll und umsetzbar, die sich auch aus wirtschaftlicher Sicht lohnen, was eine ausreichende hohe Rohstoffanreicherung erfordert. In Hinblick auf deren Aufsuchung könnte hilfreich sein, dass die Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR) ein Programm entwickelt, das die Geologischen Dienste bei der Rohstofferkundung durch Bereitstellung geeigneter wissenschaftlich-technischer Infrastruktur unterstützen soll. Dem könnte auch die stärkere Nutzung von bestehenden Rohstoffnetzwerken dienen. Als Beispiel sei hier das Forum für Bergbau, Minerale, Metalle und nachhaltige Entwicklung erwähnt.

Optimierung der Zulassungsverfahren

Die heimische Rohstoffgewinnung setzt die Zulassung von Gewinnungsstellen voraus. Je nach Art des Rohstoffs und der

Gewinnung gibt es unterschiedliche rechtliche Zulassungsvoraussetzungen und -verfahren, wofür jeweils unterschiedliche Stellen zuständig sind. Häufig unterliegen dabei die Fachplanungsverfahren einer Beteiligung der Öffentlichkeit. Dies ergibt sich aus den erforderlichen Umweltverträglichkeitsprüfungen, die im Rahmen der Zulassungsverfahren verpflichtend sind, wenn die Größe der beanspruchten Abbaufäche mehr als zehn ha umfasst. Die unterschiedlichen Zuständigkeiten bei der Zulassung und Aufsicht von Abgrabungen sollten die nachhaltige Rohstoffsicherung möglichst nicht erschweren.

Sicherstellung der Nachfolgenutzung

Mit der Förderung heimischer Rohstoffe geht meist ein Eingriff einher, der sich auf Natur und Umwelt auswirken kann und daher auch häufig in der Kritik steht. Er wird dabei insbesondere mit einer Flächeninanspruchnahme, einem Eingriff in die Landschaft sowie negativen Auswirkungen auf den Natur- und Wasserschutz verbunden. Der Rohstoffabbau stellt aber immer nur eine vorübergehende Flächeninanspruchnahme dar. Nach dem Auslaufen des Rohstoffabbaus aufgrund der Ausschöpfung der Vorkommen werden die vorübergehend in Anspruch genommenen Flächen dagegen wieder renaturiert.

Im Landesentwicklungsplan wird daher festgelegt, dass die Flächen, die vorübergehend für den Rohstoffabbau genutzt werden, abschnittsweise und zeitnah zu rekultivieren bzw. wiedernutzbar zu machen sind. Häufig werden die zuvor land- oder forstwirtschaftlich genutzten Flächen dann wieder in derartige Nutzungen überführt, es können aber auch vielfältige neue Landschaften entstehen. In Hinblick auf den Naturschutz kann es sein, dass solche Nutzungen dann sogar mit einer höheren Artenvielfalt und Biodiversität verbunden sind als zuvor. Die Aspekte im Zusammenhang mit der Nachnutzung sollten stärker hervorgehoben werden, da dies zu einer steigenden Akzeptanz des Rohstoffabbaus beitragen könnte.

Veröffentlichung geologischer Daten

Der Zugang zu geologischen Daten war lange beschränkt, da sie häufig durch kommerzielle Erkundungen des Untergrunds erhoben werden, sodass sie meist nicht verfügbar waren oder gegen Entgelt erworben werden mussten. Durch das Geologiedatengesetz wird die Übermittlung, die dauerhafte Sicherung und die öffentliche Bereitstellung geologischer Daten geregelt. Auf diese Weise sollen im Bereich der Rohstoffsicherung Investitionen und Innovationen durch eine Senkung des Aufwands für den Datenzugang generiert werden. Dies betrifft beispielsweise Daten, die mit Hilfe von Bohrungen oder anderen Erkundungsmethoden im Rahmen der Aufsuchung von Rohstoffvorkommen und der Erkundung von Lagerstätten gewonnen werden. Das Geologiedatengesetz schafft die Vo-

oraussetzung dafür, die Datenverfügbarkeit deutlich zu verbessern. Wie sich das Gesetz perspektivisch auf die Datenverfügbarkeit auswirken wird, soll im Rahmen der vorgesehenen Evaluierung des Gesetzes geprüft werden.

Förderung von Rohstoffabbautechnologien

Aufgrund seiner jahrzehntelang vom Rohstoffabbau geprägten Historie weist NRW in der Forschung und Technologieentwicklung im Rohstoffabbaubereich – einschließlich des Kohlebergbaus – erhebliche Stärken auf. Diese sollten auf den verschiedenen Ebenen – Universitäten, Fachhochschulen, außeruniversitären Forschungseinrichtungen und Unternehmen – erhalten bzw. weiter ausgebaut werden.

Zum einen könnte ein weltweiter Wissens- und Technologietransfer in ausgewählte Rohstoffförderländer erfolgen, zum anderen eine Weiterentwicklung der Technologien in Hinblick auf einen nachhaltigen heimischen Rohstoffabbau. Der Rohstoffabbau ist technologisch teilweise sehr anspruchsvoll, da er mitunter durch den intensiven Einsatz von Computertechnologien und Robotern geprägt ist. Daher gilt es, das vorhandene Know-how gezielt zu sichern und auszubauen, auch z.B. durch eine mittelfristige Umwidmung der Bergbauforschung im Bereich Kohle.

Das *Institute for Advanced Mining Technologies* (AMT) ist als Bergbauinstitut auf die Erforschung und Entwicklung von Technologien im Bereich der Digitalisierung und Automatisierung von Maschinen und Prozessen im Bergbau spezialisiert. Es gilt in diesem Bereich als eines der führenden Institute in Europa. Diese Kapazitäten gilt es zu nutzen und auszubauen. Eine Stärkung der rohstoffwirtschaftlichen, mineralogischen und metallurgischen Ausrichtung der Universitäten, Fachhochschulen und außeruniversitären Forschungseinrichtungen ist daher dringend geboten. Der heimische Rohstoffabbau muss künftig insbesondere ressourcenschonender und nachhaltiger betrieben werden. Dazu eröffnen beispielsweise die Digitalisierung, die Automatisierung und die Künstliche Intelligenz große, bislang aber noch weitgehend ungenutzte Potenziale, die es künftig stärker zu realisieren gilt.

Information und Aufklärung

Widerstände gegen den Rohstoffabbau, die in konfliktträchtigeren Räumen, in die vorgedrungen werden muss, wenn Vorkommen an konfliktfreieren Standorten erschöpft sind, können umso eher überwunden werden, je expliziter die Nachfolgenutzung festgelegt wird. In der Hinsicht könnten auch Informations- und Aufklärungsaktivitäten nützlich sein, um die Nachhaltigkeit der heimischen Rohstoffgewinnung herauszustellen und dadurch die gesellschaftliche Akzeptanz zu erhöhen.



6.15 Fact Sheet: Maßnahmen zur Erhöhung des Sekundärrohstoffeinsatzes

Das Wichtigste in Kürze

- ⇒ Im Folgenden werden Maßnahmen skizziert, die den Einsatz von Primärrohstoffen durch eine Erhöhung des Sekundärrohstoffeinsatzes verringern, womit auch eine zunehmende Etablierung der Kreislaufwirtschaft einhergeht.
- ⇒ Potenziale für Sekundärrohstoffe resultieren in erster Linie aus dem Recycling von End-of-Life-Produkten und zielen darauf ab, die darin enthaltenen Rohstoffe zumindest zum Teil in den Stoffkreisläufen zurückzuführen.
- ⇒ Die Etablierung einer nachhaltigeren Kreislaufwirtschaft bedeutet aber auch, dissipative Verluste möglichst gering zu halten, die z.B. aufgrund des Einsatzes von Recyclingverfahren oder durch Exporte werthaltiger Schrotte etwa von Alautos oder Altelektronikgeräten entstehen.
- ⇒ Dabei müssen auch so zentrale Punkte wie ein *zirkuläres Design*, die Sicherung der Sekundärmaterialien, die Verbesserung der Recyclingtechnologien und der Aufbau von Recyclingkapazitäten Berücksichtigung finden.

Zirkuläres Design

Beim *zirkulären Design* geht es darum, die Eigenschaften von Produkten schon bei deren Erstellung so zu gestalten, dass sie nach ihrem Lebensende gut recycelbar sind. Dies ist mit einem starken Hebel verbunden, da die Recyclingprozesse dadurch äußerst positiv beeinflusst werden können. Wichtig ist, dass ein *zirkuläres Design* erstmal angestoßen wird, wobei der Impuls hierfür aus der Industrie kommen, aber auch von der Politik gegeben werden kann. Zu bedenken ist, dabei aber, dass keineswegs alle Entwicklungen dahingehen, möglichst recyclingfähige Produkte zu erstellen und sich eine stärkere Umsetzung einer Kreislaufwirtschaft dadurch quasi automatisch einstellt (etwa in Bezug auf die Verkürzung der Produktlebenszyklen, die zunehmende Komplexität der Produkte und die geringer werdende Konzentration der Inputmaterialien).

Zunächst einmal müssen die entsprechenden Designs aber entwickelt werden, was eine komplexe Aufgabe ist. Dazu ist es anfangs sinnvoll, die intrinsische Motivation der Entwickler zur Entfaltung kommen zu lassen, so wie das zurzeit bei den Designs von Automobilen und Batterien zumindest ansatzweise erkennbar ist. Wenn entsprechende Designs erst einmal vorliegen, können diese dann schrittweise zum Standard und letztendlich dann auch verpflichtend gemacht werden. Zur Beschleunigung dieser Entwicklung seitens der Politik kommen auch indirekte Anreize infrage. Eine solche Möglichkeit sind z.B. die Einführung von Labels zur Recyclingfähigkeit. Hierdurch könnten Produktdesigns ausgezeichnet werden, die einen besonderen Beitrag zur Erhöhung der Recyclingfähigkeit leisten. Voraussetzung dafür wäre aber, dass die Recyclingfähigkeit objektivierbar und messbar ist.

Erhöhung des Sekundärmaterials durch höhere Sammelquoten und Eindämmung von Exporten

Für Elektronikaltgeräte wäre die Etablierung eines Pfandsystems bzw. Leasingkonzepts eine gute Möglichkeit, um die bislang noch relativ niedrigen Sammelquoten z.B. bei Smartphones schnell zu erhöhen. Die Leasinggebühren würden dann so lange weiterlaufen, bis ein Handy oder ein anderes Elektronikaltgerät (z.B. ein Monitor) wieder zurückgegeben wird. Mit der Definition von Rücknahmepflichten und dem Ausbau einer entsprechenden Sammelinfrastruktur könnten dadurch die Sammelquoten substanziell erhöht werden. Ein großes Problem stellen illegale Exporte von End-of-Life-Schrotten dar. Besonders prägnant ist dieses Problem bei den illegalen Exporten von Alautos, aber auch bei Elektronikschrotten.

Zwar handelt es sich dabei nicht in allen Fällen um illegale Exporte, vermutlich aber zu einem relativ großen Teil. Die Altfahrzeug-Verordnung hat sich daher bislang als wirkungslos erwiesen, sodass in diesem Bereich ein dringender Neuregelungsbedarf besteht. Das Ausmaß dieser illegalen Exporte resultiert aus Kostenvorteilen der Recyclingunternehmen im Ausland, die aufgrund geringerer Auflagen weniger nachhaltig recyceln, sodass sie höhere Schrottpreise zahlen können. Möglich werden die illegalen Exporte aber erst aufgrund falscher Deklarierungen. Alautos dürfen nämlich nur dann exportiert werden, wenn sie noch funktionsfähig sind (gleiches gilt für Elektronikaltgeräte). Sie werden dann als Warenexport und nicht als Schrottexport deklariert. Das Problem ist offenbar, dass die Ausfuhrkontrollen nicht ausreichend sind.

Verbesserung der Recyclingtechnologien

Für metallische Rohstoffe, deren Nachfrage künftig stark steigen dürfte (z.B. nach Batterierohstoffen oder Seltenerdenmetallen), gibt es aus technologischen und wirtschaftlichen Gründen noch keine Verfahren, die ein wirtschaftliches Recycling ermöglichen. Gleichwohl befindet sich hier vieles in einem erfolgversprechenden Entwicklungsstadium. In NRW wird beispielsweise gezielt an der Weiterentwicklung bestehender Verfahren geforscht, um deren Effizienz zu erhöhen. Daher besteht an dieser Stelle ein guter Anknüpfungspunkt für die Politik, diese Entwicklungen durch eine gezielte Forschungsförderung zu unterstützen. Das Know-how im Bereich Recycling ist in den Hochschulen, Forschungseinrichtungen und Unternehmen von NRW reichlich vorhanden, worauf gut aufgebaut werden kann. In Europa wird es künftig einige wenige große Recycling-Cluster geben, daher sollte es NRW fördern, dass sich eines dieser Cluster hier im Land herausbildet.

Ausbau der Recyclingkapazitäten

Recyclingkapazitäten sind Voraussetzung, dass sich Sekundärmaterialien mit Hilfe von Recyclingtechnologien zu Sekundärrohstoffen umwandeln lassen. Der Ausbau der Kapazitäten setzt aber hohe Investitionen in Anlagen voraus, deren Renta-

bilität von der Entwicklung der Rohstoffpreise oder der Effektivität der Recyclingtechnologien abhängt. Die Kapazitäten der NRW-Hüttenwerke sind noch zu gering, um wesentlich größere Schrottmengen verarbeiten zu können, zudem fehlen entsprechende Demontagekapazitäten. Sollte es gelingen, die Mengen an Schrotten deutlich zu erhöhen, sind weitere Investitionen unabdingbar. Neben den Kapazitäten für das Recycling von Schrotten müssen auch die für Schlacken, Aschen und Stäube erweitert und dabei zudem noch die Schwermetallproblematik gelöst werden. Investitionen können aber durch geeignete politische Maßnahmen gefördert werden, wie z.B. Investitionszulagen oder steuerliche Erleichterungen.

Altautorecycling

In Deutschland werden rund 500 Tsd. Altautos pro Jahr recycelt. Die Recyclingquote von 85% sagt allerdings wenig aus, da rund 85% der Altautos exportiert werden und die Qualität des Recyclings nicht berücksichtigt wird. Die Voraussetzungen für ein effektives Recycling sind noch nicht erfüllt, nämlich die Festlegung und Einhaltung bestimmter Standards zur Recyclingfähigkeit bei der Produktgestaltung (*zirkuläres Design*) und die Verfügbarkeit ausgereifter Recyclingtechnologien. Zudem stellt auch die Demontage der werthaltigen Bestandteile mitunter ein Problem dar. Da das Recycling von Altautos noch mit einem hohen Aufwand verbunden ist, können inländische Recyclingunternehmen häufig weniger für Schrottautos bezahlen als beim (teilweise illegalen) Export zu erzielen ist.

Recycling von Elektronikaltgeräten

Von politischer Seite sind drei Aspekte in Hinblick auf das Recycling von Elektroaltgeräten in den Blick zu nehmen: (1) eine Veränderung der Produktstandards hinsichtlich einer Verbesserung der Recyclingfähigkeit durch Vorgaben bei den Herstellern, (2) die Erhöhung der Sammelquoten und (3) die Verbesserung der Technologien für das Recycling durch eine entsprechende Förderung von Forschung und Entwicklung.

Batterierecycling

Der Gesetzgeber sollte die Ausstellung eines Batteriepasses einführen, da Recycler wissen müssen, welche Rohstoffe bzw. Schadstoffe in den Batterien enthalten sind. Dies könnte in einem cloudbasierten Chip abgelegt werden, sofern die Zugriffsrechte klar geregelt sind. Die Batterien könnten z.B. im Eigentum der OEMs verbleiben und im Rahmen eines Leasing-Konzepts genutzt werden. Künftig sollte vor allem die Recyclingfähigkeit der Lithium-Ionen-Batterien stärker in den Fokus gerückt und bereits bei der Produktion berücksichtigt werden, wobei auch die Demontierbarkeit sowie die Trennbarkeit der Wertstoffe gleichermaßen gewährleistet sein müssen, wozu standardisierte Produktdesigns zu etablieren sind.

Recycling von industriellen Abfällen

Ein Teil der industriellen Produktionsabfälle lässt sich nicht mehr industriell verwerten und verlässt daher die Unternehmen. Dabei handelt es sich um wertstoff-, teilweise aber auch schadstoffhaltige Schrotte, Schlacken, Stäube, Aschen oder Schlämme. Was von den industriellen Abfällen nicht von der Recyclingwirtschaft aufgenommen und verwertet werden kann, wird zum Teil nach Asien exportiert. Speziell China nimmt diese Abfälle inzwischen aber nur noch auf, wenn sie bestimmte Qualitätsstandards erfüllen, was zur Folge hat, dass deutsche Recyclingunternehmen wie z.B. Aurubis oder Umicore dann Schrotte geringerer Qualitäten bekommen.

Bepreisung von CO₂ bei Sekundärrohstoffen

Eine Steuer auf Primär- oder eine Subventionierung von Sekundärrohstoffen (z.B. in Form einer Recycling-Umlage) führt zu einer Internalisierung von Nachhaltigkeitsaspekten und würde Sekundärrohstoffen gegenüber Primärrohstoffen einen Wettbewerbsvorteil verschaffen. Diese Internalisierung könnte somit die Entwicklung von Recyclingtechnologien und damit auch des Recyclings befördern.

Dialogplattform Recyclingrohstoffe

Im Auftrag des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie (BMWi) wird von der Deutschen Rohstoffagentur (DERA) eine Dialogplattform Recyclingrohstoffe aufgebaut. Sie soll dazu beizutragen, dass Sekundärrohstoffe für die Versorgung der deutschen Wirtschaft mit mineralischen Rohstoffen eine größere Bedeutung bekommen. Hierzu sollen u.a. Handlungsoptionen zur Stärkung des Metallrecyclings und des Recyclings von Industriemineralen herausgearbeitet werden. An der Plattform können sich sowohl Wissenschaft und Industrie als auch Politik gleichermaßen beteiligen. NRW sollte sich hieran mit ausgewiesenen Vertreterinnen und Vertretern der im Rohstoffbereich relevanten Akteure aktiv beteiligen.

Steigerung der Ressourceneffizienz

Das wichtigste öffentliche Förderprogramm zur Steigerung der Ressourceneffizienz ist das Deutsche Ressourceneffizienzprogramm (ProgRes). Es beinhaltet ressortübergreifend alle Maßnahmen der Bundesregierung in den Bereichen Rohstoff- bzw. Materialeffizienz, Recycling und Substitution. Auch das EU-Forschungsrahmenprogramm adressiert die Themen Recycling, Kreislaufwirtschaft und Ressourceneffizienz. Diese Fördermaßnahmen sollten durch das Auflegen von Landesprogrammen ergänzt werden. Geprüft werden sollte ferner, ob ein Teil der Strukturhilfen für das Rheinische Revier im Zusammenhang mit dem Ausstieg aus der Braunkohleverstromung künftig in die Forschungsförderstrategie des Landes zur Steigerung der Ressourceneffizienz integriert werden kann.



6.16 Fact Sheet: Maßnahmen mit Leuchtturmcharakter im Rohstoffbereich

Das Wichtigste in Kürze

- Die folgenden Maßnahmen mit Leuchtturmcharakter sind geeignet, die verschiedenen Themen im Rohstoffbereich sichtbarer zu machen und damit in den Fokus zu rücken.
- Hierdurch können Stakeholder und Öffentlichkeit besser über rohstoffspezifische Themen informiert und Impulse für neue Forschungsthemen gesetzt werden.
- Hierin sollten bereits laufende Aktivitäten mit einfließen, die dann aber stärker gebündelt und durch neue Ansätze bzw. Maßnahmen ergänzt werden.

Einrichtung eines Rohstoff-Informationstools

Die Einrichtung eines solchen Tools würde die Akteure im Rohstoffbereich u.a. darüber informieren, inwieweit die Rohstoffbeschaffung mit Risiken etwa in Bezug auf die Versorgungssicherheit oder Preisentwicklung verbunden sein könnte. Es sollte die Informationsangebote, die es im Bereich der mineralischen Rohstoffe für Deutschland bereits gibt, wie etwa von der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR 2021a), der Deutschen Rohstoffagentur (DERA 2021a) oder dem Informationsportal der deutschen Initiative für Transparenz im rohstoffgewinnenden Sektor (EITI 2021), durch eine entsprechende Verlinkung einbeziehen und um Rohstoffthemen ergänzen, die für NRW bedeutsam sind.

Auch Plattformen wie das Netzwerk Ressourceneffizienz oder das VDI Zentrum Ressourceneffizienz sollte den Akteuren in NRW durch eine Verlinkung zugänglich gemacht werden. Während die Einrichtung eines derartigen Tools mit einem relativ geringen Aufwand verbunden wäre, könnte daran gemessen die Außenwirkung, wenn das Tool entsprechend promotet würde, ziemlich groß sein.

Gründung eines Think Tanks für Rohstoffeffizienz und -politik

Die Gründung eines *Think Tank* für Rohstoffeffizienz und -politik wäre eine innovative Möglichkeit für NRW, die verschiedenen Rohstoffthemen im Land weiter voranzubringen. Vorbild könnte der vom Land Baden-Württemberg gemeinsam mit Wissenschaft und Wirtschaft gegründete *Think Tank* „Industrielle Ressourcenstrategien“ sein (Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg 2019: 8ff.).

Er soll Politik und Wirtschaft auf einer wissenschaftlichen Basis in Rohstoff- und Ressourceneffizienzfragen beraten sowie praktische und innovative Lösungen, Konzepte und Handlungsempfehlungen für den Umgang mit Rohstoffen entwickeln. Die Gründung dieses deutschlandweit bislang einmaligen *Think Tank* geht zurück auf eine Empfehlung aus dem Jahr 2014 zur Gründung eines *Think Tanks* „Industrie- und Ressourcenpolitik“ (UMSICHT und iswa 2014: 109f.).

Die Etablierung einer derartigen Denkfabrik in NRW könnte gleich mehrere Ziele adressieren:

- Verbreiterung und verstärkte Sichtbarmachung der rohstoffpolitisch relevanten Wissens- und Datenbasis,
- Weiterentwicklung rohstoffspezifischer Indikatoren,
- Steigerung der gesellschaftlichen Akzeptanz des heimischen Primärrohstoffabbaus durch die Analyse der Möglichkeiten einer nachhaltigen und ressourceneffizienten Primärrohstoffgewinnung und -versorgung,
- Erforschung der Verbesserungspotenziale in Bezug auf die Steigerung der Produktdesigns sowie der Recycling- und Substitutionsraten,
- Reduzierung des spezifischen Rohstoffverbrauchs im Rahmen branchenspezifischer Wertschöpfungsketten,
- Möglichkeiten zur Eindämmung dissipativer Verluste etwa durch Produktions- und Recyclingverluste, Korrosion, Deposition oder (illegale) Exporte,
- Förderung von Innovationen, Technologie- und Wissenstransfer im Primär- und Sekundärrohstoffbereich,
- Abbildung von branchenspezifischen Stoffstromanalysen für besonders risikobehaftete Rohstoffe,
- Einbindung der Industrie und der Industrieverbände sowie der in NRW bestehenden Forschungseinrichtungen,
- Verknüpfung der Rohstoff-, Industrie und Energiepolitik unter Berücksichtigung des Strukturwandels, u.a. mit einem Fokus auf die Grundstoffindustrie in NRW,
- Empfehlung von rohstoffpolitischen Maßnahmen in allen rohstoffrelevanten Bereichen.

Die Ausrichtung der Denkfabrik sollte sich nicht alleine am Bedarf und der Verwendung der Rohstoffe orientieren, sondern auch an der Versorgung mit und der Verfügbarkeit von Rohstoffen einschließlich der heimischen Rohstoffförderung. Dabei sollte eine Roadmap erarbeitet, verfolgt und förderpolitisch flankiert werden, in deren Rahmen aufgezeigt und untersucht wird, welche Ansätze für neue Technologien, Produkte, Prozesse und Dienstleistungen im Rohstoffbereich umgesetzt werden könnten. Den Hochschulen und Forschungseinrichtungen kommt dabei als Bindeglied große Bedeutung zu.

Der *Think Tank* könnte beispielsweise an der RWTH Aachen angesiedelt werden, sollte aber unabhängig und interdisziplinär agieren. Die Denkfabrik sollte gemeinsam vom Land NRW und Industrieverbänden finanziert werden. Ein Beirat mit Vertreterinnen und Vertretern von Industrie und Politik sowie ein

Lenkungskreis aus international renommierten Wissenschaftlern könnten die politisch-wissenschaftliche Ausrichtung des *Think Tanks* steuern. Sinnvoll wäre zudem eine auf Stakeholder, Scientific Community, Unternehmen und die Öffentlichkeit ausgerichtete Publikationsreihe, die von der Denkfabrik herausgegeben wird.

Zudem könnten neuartige Formate genutzt werden, um eine höhere Partizipation der Gesellschaft an dem Thema hervorzurufen. In Hinblick auf die Information und den Austausch mit Schulen und der gesamten Bevölkerung könnte beispielsweise eine Zusammenarbeit mit Museen etabliert werden (wie etwa mit dem Energeticon in Alsdorf).

Mit Hilfe eines derartig konzipierten *Think Tanks* könnten in NRW Wissenschaft, Industrie und Politik gemeinsam rohstoffspezifische Themen aufgreifen und branchenübergreifend nach technologischen Lösungen suchen, um die Ergebnisse möglichst öffentlichkeitswirksam nach außen zu tragen und in die Gesellschaft hinein zu kommunizieren.

Etablierung von Forschungsfabriken, Demonstrationszentren, Exzellenzzentren und Pilotanlagen

Die Einrichtung von Forschungsfabriken in Verbindung mit einem Demonstrationszentrum stellt eine gute Möglichkeit dar, Unternehmen und Forschungseinrichtungen zusammenzuführen, damit diese in wichtigen Rohstofffeldern technologische Entwicklungen anstoßen und gemeinsam entwickeln können. In NRW sollte beispielsweise die vom BMBF geförderte Batterieforschungsfabrik, die in Münster gebaut wird, mit dem entsprechenden Demonstrationszentrum verbunden werden, dessen konzeptionelle Entwicklung sich ebenfalls in einem bereits fortgeschrittenen Stadium befindet.

Wissenschaft und Industrie bekommen hier die Möglichkeit, das Batterierecycling entlang einer kompletten Recyclingroute zu erproben und die Effizienz des Batterierecyclings substanzial zu erhöhen. Dies könnte dann Vorbildcharakter für ähnlich ausgerichtete Aktivitäten in anderen rohstoffspezifischen Bereichen haben, wie z.B. dem Recycling von Elektroaltgeräten oder Altautos, aber auch für neue Technologien bei der primären Rohstoffgewinnung. Letzteres betreffend ist als Beispiel das Reallabor Nivelstein erwähnenswert.

Nicht mehr in der Konzeptphase, sondern bereits am Start ist das Exzellenzzentrum Kunststoffrecycling, an dem sich u.a. der VCI NRW und kunststoffland NRW beteiligen. Die Initiierung weiterer Exzellenzzentren in rohstoffrelevanten Themenbereichen sollte erwogen werden. Weiterhin wäre auch eine verstärkte Förderung von Pilotstudien und Pilotanlagen überlegenswert, da sich vieles, was gerade im Bereich der Entwicklung von Recyclingtechnologien in der Pipeline ist, noch im Laborstadium befindet.

Einbindung von Rohstoffthemen in die Lehrpläne allgemeinbildender Schulen

Vor dem Hintergrund der hohen Relevanz, die künftig der Gewinnung und dem Einsatz von Primär- und Sekundärrohstoffen sowie der Umsetzung der Kreislaufwirtschaft zukommen wird, könnte NRW bereits in den Schulen etwas tun, um diese Themen in den Köpfen der Schülerinnen und Schüler zu verankern. Sie sollten daher in stärkerem Maße zum Bestandteil der Lehrpläne an allgemeinbildenden Schulen werden. Auf diesem Wege könnten Kinder und Jugendliche für Rohstoffthemen sensibilisiert werden, was auf Dauer eine größere gesellschaftliche Akzeptanz und Bewusstseinsbildung für diese existenziellen Fragen mit sich brächte. Hierdurch würde das Bildungssystem zukunftsfähiger gemacht, indem Schüler etwa lernen, welche Rohstoffe in Produkten wie z.B. Handys oder Computern enthalten sind.

Installierung eines Beirats für Ressourceneffizienz und Rohstoffpolitik

Die Deutsche Rohstoffagentur (DERA) berät die Bundesregierung bei rohstoffwirtschaftlichen Themen wie der Durchführung von Förderprogrammen und unterstützt die zuständigen Ministerien beim Aufbau rohstoffwirtschaftlicher Kooperationen mit anderen Ländern. Bei der Konzipierung der vorgeschlagenen Förderung von Maßnahmen zur Steigerung der Ressourceneffizienz wie auch den an anderen Stellen vorgeschlagenen FuE-Fördermaßnahmen sollte sich auch das Land NRW eine eingehende externe Expertise einholen. Zudem wäre es sinnvoll, einen Beirat für Ressourceneffizienz und Rohstoffpolitik mit Vertreterinnen und Vertretern aus Wissenschaft und Industrie zu installieren. Dieser sollte die Aufgabe wahrnehmen, die NRW-Landesregierung in ressourcen- und rohstoffrelevanten Bereichen zu beraten sowie eigenständige Vorschläge zur Politikgestaltung zu unterbreiten.

Verleihung eines Rohstoffeffizienz-Preises

Der Deutsche Rohstoffeffizienz-Preis der Deutschen Rohstoffagentur (DERA) ging im Jahr 2020 u.a. an das *Institute for Advanced Mining Technologies* (AMT) und das Lehr- und Forschungsgebiet Aufbereitung mineralischer Rohstoffe (AMR) der RWTH Aachen. Das zeigt, dass das Thema Rohstoffeffizienz auch im Bereich der primären Rohstoffgewinnung relevant ist. Einen Rohstoffeffizienz-Preis vergibt im Übrigen auch die Effizienz-Agentur NRW (efa) mit dem Effizienz-Preis NRW. Der Urban Mining Award zeichnet wiederum Preisträger aus, die sich in Bezug auf die Förderung und Umsetzung der Kreislaufwirtschaft verdient gemacht haben. Demnach gibt es schon einige Rohstoffeffizienz-Preise. Dennoch wäre es überlegenswert, auch einen entsprechenden Preis der NRW-Landesregierung auszuloben, etwa vergleichbar mit der jährlichen Verleihung des Innovationspreises.

Literaturverzeichnis

- acatech – Deutsche Akademie der Technikwissenschaften e.V., Circular Economy Initiative Deutschland und SYSTEMIQ Ltd (2021), Ressourcenschonende Batteriekreisläufe. Mit Circular Economy die Elektromobilität antreiben. München: acatech.
- acatech – Deutsche Akademie der Technikwissenschaften e.V., Leopoldina – Deutsche Akademie der Naturforscher Leopoldina e.V. und Union der deutschen Akademien der Wissenschaften e.V (2017), Rohstoffe für die Energiewende. Wege zu einer sicheren und nachhaltigen Versorgung. München: acatech.
- ACEA – European Automobile Manufacturers Association (2021), New Passenger Car Registrations by Fuel Type in the European Union. Internet: [heise.de/downloads/18/3/0/5/2/0/0/3/20210204_PRPC_fuel_Q4_2020_FINAL.pdf](https://www.heise.de/downloads/18/3/0/5/2/0/0/3/20210204_PRPC_fuel_Q4_2020_FINAL.pdf) (Abruf vom 17.6.2021).
- Al Barazi, S. (2018), Rohstoffrisikobewertung – Kobalt. *DERA Rohstoffinformationen* 48. Berlin: DERA.
- Arnberger, A., E. Coskun und B. Rutrecht (2018), Recycling von Lithium-Ionen-Batterien. In: S. Thiel, E. Thomé-Kozmiensky und D. Goldmann (Hrsg.), *Recycling und Rohstoffe*. Band 11. Thomé-Kozmiensky Verlag GmbH: 583-599.
- Atzorn, M., C. Gey, F. Leplow und M. Piayda (2018), Wiederverwendung und Recycling von Lithium-Ionen-Akkus. Projektarbeit der Hochschule RheinMain in Kooperation mit Prof. Dr. Thomas Schmid, Hessisches Landesamt für Naturschutz, Umwelt und Geologie.
- Barabas, G., R. Jessen, F. Kirsch und T. Schmidt (2020), Projektion der Wirtschaftsentwicklung bis 2025: Wirtschaftliche Corona-Folgen werden in der mittleren Frist überwunden. *RWI Konjunkturberichte* 71 (4): 27-37.
- Bardt, H., H. Kempermann und K. Lichtblau (2013), Deutsche Unternehmen im Wettbewerb um Rohstoffe. Versorgungsrisiken und Absicherungsstrategien. *Forschungsberichte aus dem Institut der deutschen Wirtschaft Köln* 93. Köln: IW.
- bbs – Bundesverband Baustoffe – Steine und Erden e.V. (2018), Verkehrsträgerverteilung in der Baustoff-, Steine-und-Erden-Industrie nach Einzelbranchen. Berlin: bbs.
- BDI – Bundesverband der Industrie e.V. (2017), Rohstoffversorgung 4.0. Handlungsempfehlungen für eine nachhaltige Rohstoffpolitik im Zeichen der Digitalisierung. Berlin: BDI.
- BDI – Bundesverband der Industrie e.V. (2020), Auswirkungen der Corona-Pandemie auf die Rohstoffversorgung. Ergebnisse der BDI-Umfrage. Berlin: BDI.
- Belland Vision (2020a), Das neue Verpackungsgesetz. Mehr Recycling und lauterer Wettbewerb. Die wichtigsten Inhalte. Internet: bellandvision.de/VerpackG.htm (Abruf vom 4.6.21).
- Belland Vision (2020b), Änderungen durch das Verpackungsgesetz. Die wichtigsten Informationen für Sie zusammengefasst. Internet: bellandvision.de/upload/20200810-Merkblatt-VerpackG-3217.png (Abruf vom 4.6.2021).
- BGR – Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (2016), Salze in Deutschland. Hannover: BGR.
- BGR – Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (2019), Vorkommen und Produktion mineralischer Rohstoffe – ein Ländervergleich. Hannover: BGR.
- BGR – Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (2020), Deutschland – Rohstoffsituation 2019. Hannover: BGR.
- BGR – Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (2021a), Mineralische Rohstoffe. Internet: bgr.bund.de/DE/Themen/Min_rohstoffe/min_rohstoffe_node.html;jsessionid=35BAAADE8EA162EA6B0A812C0893B467.2_cid321 (Abruf vom 1.2.2021).
- BGR – Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (2021b), Rohstoffsteckbriefe. Internet: bgr.bund.de/DE/Themen/Min_rohstoffe/Produkte/produkte_node.html?tab=Rohstoff-Steckbriefe (Abruf vom 21.5.2021).
- Birich, A., N. Borowski, F. Diaz, B. Flerus und A. Trentmann (o.J.), Effizientes Recycling von Elektronikschrott. Internet: publications.rwth-aachen.de/record/690875/files/690875.pdf (Abruf vom 14.6.2021).
- BKRI – Bundesverband Keramische Rohstoffe und Industriemineralien e.V. (2016), Leben mit Rohstoffen. Neuwied: BKRI.
- BMJV – Bundesministerium der Justiz und für Verbraucherschutz (2017), Verordnung über die Vermeidung und Verwertung von Verpackungsabfällen (Verpackungsverordnung – VerpackV) vom 21. August 1998 (BGBl. I S. 2379), die zuletzt durch Artikel 11 Absatz 10 des Gesetzes vom 18. Juli 2017 (BGBl. I S. 2745) geändert worden ist. Internet: web.archive.org/web/20180611215152/http://www.gesetze-im-internet.de/verpackv_1998/BJNR237900998.html (Abruf vom 2.6.2021).
- BMJV – Bundesministerium der Justiz und für Verbraucherschutz (2021), Gesetz über das Inverkehrbringen, die Rücknahme und die hochwertige Verwertung von Verpackungen (Verpackungsgesetz – VerpackG) vom 5. Juli 2017 (BGBl. I S. 2234). Zuletzt geändert durch Artikel 1 des Gesetzes vom 27. Januar 2021 (BGBl. I S. 140). Internet: gesetzte-im-internet.de/verpackg/BJNR223410017.html (Abruf vom 2.6.2021).

- BMWi – Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (2018), Der Bergbau in der Bundesrepublik Deutschland. *Bergwirtschaft und Statistik* 68. Berlin: BMWi.
- BMWi – Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (2021a), Branchenskizze Stahl und Metall. Berlin: BMWi. Internet: [bmwi.de/Redaktion/DE/Textsammlungen/Branchenfokus/Industrie/branchenfokus-stahl-und-metall.html](https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Textsammlungen/Branchenfokus/Industrie/branchenfokus-stahl-und-metall.html) (Abruf vom 1.4.2021).
- BMWi – Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (2021b), Gewinnung heimischer Rohstoffe/Bergrecht. Internet: [bmwi.de/Redaktion/DE/Textsammlungen/Industrie/gewinnung-heimischer-rohstoffe.html](https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Textsammlungen/Industrie/gewinnung-heimischer-rohstoffe.html) (Abruf vom 16.8.2021).
- BMWi – Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (2021c), Rohstoffe. Bergbau, Recycling, Ressourceneffizienz – wichtig für Wohlstand und Arbeitsplätze. Berlin: BMWi.
- Böhmer, M. und J. Limbers (2020), Klimapolitische Herausforderungen der Stahlindustrie in Deutschland. Freiburg: Prognos AG.
- Bonnet, P. (2020), Klimaschutz, Billigimporte & Überkapazitäten: Was bringt das neue Jahrzehnt für europäische Stahl-Aktien? Internet: [finanzen.net/nachricht/aktien/stahlbranche-im-umbruch-klimaschutz-billigimporte-ueberkapazitaeten-was-bringt-das-neue-jahrzehnt-fuer-europaeische-stahl-aktien-8393284](https://www.finanzen.net/nachricht/aktien/stahlbranche-im-umbruch-klimaschutz-billigimporte-ueberkapazitaeten-was-bringt-das-neue-jahrzehnt-fuer-europaeische-stahl-aktien-8393284) (Abruf vom 1.4.2021).
- Bookhagen, B und D. Bastian (2020), Metalle in Smartphones. *Commodity TopNews* 65. Hannover: BGR.
- Bormann, R., P. Fink, H. Holzapfel, S. Rammler, T. Sauter-Servaes, H. Tiemann, T. Waschke und B. Weirauch (2018), Die Zukunft der deutschen Automobilindustrie. Transformation by Disaster oder by Design? *Wisio Diskurs* 3. Bonn: Friedrich-Ebert-Stiftung.
- Bosewitz, S. (2013), Kunststoff Recycling in Produkten. Essen: VGE Verlag GmbH.
- Boulding, K. E. (1966), The Economics of the Coming Space-ship Earth. In: H. Jarrett (ed.) *Environmental Quality in a Growing Economy. Resources for the Future*. Johns Hopkins University Press. Baltimore, MD: 3-14.
- Boysen-Hogrefe, J., S. Fiedler, K-J. Gern, D. Groll, N. Jannsen, P. Hauber, S. Kooths, S. Möhle und U. Stolzenburg (2020), Mittelfristprojektion für Deutschland im Frühjahr 2020 – Potenzialwachstum von Corona-V(irus) kaum berührt. *Kieler Konjunkturberichte* 66. Kiel: Institut für Weltwirtschaft (IfW).
- Braun, R. (2020), Wohnungsmarktprognose 2021/22. Regionalisierte Prognose in drei Varianten mit Ausblick bis 2030. *empirica-Paper* 256. Berlin: empirica ag.
- Buchert, M. und J. Sutter (2020), Stand und Perspektiven des Recyclings von Lithium-Ionen-Batterien aus der Elektromobilität. Synthesepapier erstellt im Rahmen des vom Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit geförderten Verbundvorhabens MERCATOR. Internet: [oeko.de/fileadmin/oekodoc/Strategiepapier-Mercator-Recycling-Batterien.pdf](https://www.oeko.de/fileadmin/oekodoc/Strategiepapier-Mercator-Recycling-Batterien.pdf) (Abruf vom 21.3.2021).
- Bundesrat (2020), Vorschlag für eine Verordnung des Europäischen Parlaments und des Rates über Batterien und Altbatterien, zur Aufhebung der Richtlinie 2006/66/EG und zur Änderung der Verordnung (EU) 2019/1020. Unterrichtung durch die Europäische Kommission. Drucksache 775/20. Köln: Bundesanzeiger Verlag GmbH.
- Bundesregierung (2021), Gesamtwirtschaftliches Produktionspotenzial und Konjunkturkomponenten. Datengrundlagen und Ergebnisse der Schätzungen der Bundesregierung. Berlin: Bundesministerium für Wirtschaft und Energie.
- Butz, M., A. Schmidt und G. Tillmann (2014), Umbruch in der Automobilzulieferindustrie. Standortoptimierung und Sourcing. Berlin: Deloitte & Touche GmbH Wirtschaftsprüfungsgesellschaft.
- Cefic – The European Chemical Industry Council (2020), The European Chemical Industry Facts and Figures 2020. Brussels: Cefic.
- Chaudhary K. und P. Vrat (2018), Case study analysis of e-waste management systems in Germany, Switzerland, Japan and India. *Benchmarking: An International Journal* 25 (9): 3519-3540.
- Damm, S. (2018), Rohstoffrisikobewertung – Tantal. *DERA Rohstoffinformationen* 31. Berlin: DERA.
- DECHEMA (2015), Anorganische Rohstoffe – Sicherung der Rohstoffbasis von morgen. Positionspapier des Temporären ProcessNet-Arbeitskreises „Rohstoffe und Kreislaufwirtschaft“. Frankfurt am Main: ProcessNet.
- Dehio, J. (2020), Gold oder Silber, wem gehört die Zukunft? Edelmetalle als Chance im Lichte instabiler Finanzmärkte und zur Neige gehender Ressourcen. 2., überarbeitete und aktualisierte Auflage. Frankfurt: R.G.Fischer Verlag.
- Dehio, J. und M. Rothgang (2015), Transfer von Grundlagenwissen in Anwendungen. Ergebnisse aus einer Untersuchung der IGF-Fördervariante CLUSTER. *Baltic Management Review* 8 (1): 27-39.
- Dehio, J. und M. Rothgang (2018), Sammlung und Verwertung von Leichtverpackungen: Eine ökonomische Analyse des dualen Systems. *Zeitschrift für Umweltpolitik und Umweltrecht* 41 (3): 261-287.

- Dehio, J. und T. Schmidt (2019), Gesamt- und regionalwirtschaftliche Bedeutung des Braunkohlesektors und Perspektiven für die deutschen Braunkohleregionen. *Zeitschrift für Energiewirtschaft* 43: 11-25.
- Der Landtag NRW (2015), Enquetekommission zur Zukunft der chemischen Industrie in Nordrhein-Westfalen im Hinblick auf nachhaltige Rohstoffbasen, Produkte und Produktionsverfahren. Düsseldorf: Landtag NRW.
- DERA – Deutsche Rohstoffagentur in der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR) (2013), Ursachen von Preispeaks, -einbrüchen und -trends bei mineralischen Rohstoffen. *DERA-Rohstoffinformationen* 17. Berlin: DERA.
- DERA – Deutsche Rohstoffagentur in der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR) (2016), Rohstoffe für Zukunftstechnologien 2016. *DERA-Rohstoffinformationen* 28. Berlin: DERA.
- DERA – Deutsche Rohstoffagentur in der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR) (2019), DERA-Rohstoffliste 2019. Angebotskonzentration bei mineralischen Rohstoffen und Zwischenprodukten – potenzielle Preis- und Lieferrisiken. *DERA-Rohstoffinformationen* 40. Berlin: DERA.
- DERA – Deutsche Rohstoffagentur in der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR) (2021a), Rohstoffinformationssystem ROSYS. Internet: deutsche-rohstoffagentur.de/DERA/DE/ROSYS/rosys_node.html (Abruf vom 1.5.2021).
- DERA – Deutsche Rohstoffagentur in der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR) (2021b), Rohstoffwirtschaftliche Kurzinformationen Internet: bgr.bund.de/DERA/DE/Produkte/Infomaterial/infom_node.html (Abruf vom 31.5.2021).
- DERA – Deutsche Rohstoffagentur in der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR) (2021c), Rohstoffe für Zukunftstechnologien 2021. *DERA-Rohstoffinformationen* 50. Berlin: DERA.
- Destatis (2019a), Qualitätsbericht Außenhandel. Wiesbaden: Statistisches Bundesamt.
- Destatis (2019b), Warenverzeichnis für die Außenhandelsstatistik. Ausgabe 2020. Wiesbaden: Statistisches Bundesamt.
- Destatis (2020a), Erwerbersonenvorausberechnung 2020. Wiesbaden: Statistisches Bundesamt.
- Destatis (2020b), Inlandsproduktberechnung. Detaillierte Jahresergebnisse 2019. Fachserie 18 „Volkswirtschaftliche Gesamtrechnungen“. Reihe 1.4. Wiesbaden: Statistisches Bundesamt (Internet-Abruf vom 9.11.2020).
- Destatis (2020c), Umsatzsteuerstatistik. Wiesbaden: Statistisches Bundesamt (Internet-Abruf vom 9.11.2020).
- Destatis (2021a), Außenhandelsstatistik. Wiesbaden: Statistisches Bundesamt (Internet-Abruf vom 15.3.2021).
- Destatis (2021b), Aufbereitung und Verwertung von Bau- und Abbruchabfällen. Bundesländer und Jahre. Wiesbaden: Statistisches Bundesamt.
- Destatis (2021c), Input-Output-Rechnung 2017. Fachserie 18 „Volkswirtschaftliche Gesamtrechnungen“. Reihe 2. Wiesbaden: Statistisches Bundesamt (Internet-Abruf vom 31.1.2021).
- Die Bundesregierung (2019), Rohstoffstrategie der Bundesregierung. Sicherung einer nachhaltigen Rohstoffversorgung Deutschlands mit nichtenergetischen mineralischen Rohstoffen. Berlin: BMWi.
- Die Bundesregierung (2020), Fortschreibung der Rohstoffstrategie der Bundesregierung. Berlin.
- Die Bundesregierung (2021), Fragen und Antworten zum Verpackungsgesetz. Mehrweg fürs Essen zum Mitnehmen. Internet: bundesregierung.de/breg-de/themen/klimaschutz/mehrweg-fuers-essen-to-go-1840830 (Abruf vom 2.6.2021).
- Dispan, J. und L. Mendler (2020), Branchenanalyse kunststoffverarbeitende Industrie 2020. Beschäftigungstrends, Kreislaufwirtschaft, digitale Transformation. Working Paper Forschungsförderung 186. Düsseldorf: Hans-Böckler-Stiftung.
- Dittrich, M., S. Limberger, B. Ewers, M. Stalf, F. Knappe, R. Vogt (2021), Sekundärrohstoffe in Deutschland. Studie im Auftrag des NABU. Heidelberg: ifeu – Institut für Energie- und Umweltforschung Heidelberg.
- DIW – Deutsches Institut für Wirtschaftsforschung und SST – Ingenieurgesellschaft Aachen (2019), Die Nachfrage nach Primär- und Sekundärrohstoffen der Steine- und-Erden-Industrie bis 2035 in Deutschland. Berlin: Bundesverband Baustoffe – Steine und Erden e.V. (bbs).
- Döhrn, R. (2020), Stahlkrise reloaded? Lage und Aussichten für die deutsche Stahlindustrie. *Wirtschaftsdienst* 100: 72–74.
- Doose, S., J. K. Mayer, P. Michalowski und A. Kwade (2021). Challenges in ecofriendly battery recycling and closed material cycles: A perspective on future lithium battery generations. *Metals* 11(2): 1-17.
- EITI – Extractive Industries Transparency Initiative (2021), Informationsportal der deutschen Initiative für Transparenz im rohstoffgewinnenden Sektor (D-EITI). Internet: rohstofftransparenz.de (Abruf vom 25.5.2021).
- Element Energy Ltd (2019), Batteries on wheels: the role of battery electric cars in the EU power system and beyond. Technical Appendix. June. Internet-Abruf vom 17.6.2021).

- Elsner, H., K. Kuhn und M. Schmitz (2017), Heimische mineralische Rohstoffe – unverzichtbar für Deutschland! Hannover: BGR.
- EU – Europäische Union (2012), Richtlinie 2012/19/EU des Europäischen Parlaments und des Rates vom 4. Juli 2012 über Elektro- und Elektronik-Altgeräte. Internet: eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/HTML/?uri=CELEX:32012L0019&from=DE#d1e462-38-1 (Abruf vom 14.6.2021).
- Eurometaux und Eurofer (2012), Recycling Rates of Metals. Brüssel: Eurometaux European Association of Metals, Eurofer. The European Steel Association. Internet: eurofer.eu/assets/publications/archive/archive-of-older-eurofer-documents/2012-Eurometaux-EUROFERRecyclingRatesforMetals.pdf (Abruf vom 10.5.2021).
- Europäische Kommission (2008), Verordnung (EG) Nr. 282/2008 vom 27. März 2008 über Materialien und Gegenstände aus recyceltem Kunststoff, die dazu bestimmt sind, mit Lebensmitteln in Berührung zu kommen, und zur Änderung der Verordnung (EG) Nr. 2023/2006. Amtsblatt der Europäischen Union vom 28.03.2008. Brüssel.
- Europäischer Ausschuss der Regionen (2021), Aktionsplan für kritische Rohstoffe. Entwurf einer Stellungnahme der Fachkommission für Wirtschaftspolitik. Brüssel.
- European Commission (2020a), Critical Raw Materials for Strategic Technologies and Sectors in the EU. A Foresight Study. Luxembourg: European Union.
- European Commission (2020b), Proposal for a REGULATION OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL concerning batteries and waste batteries, repealing Directive 2006/66/EC and amending Regulation (EU) No 2019/1020, COM (2020) 798/3, Brussels.
- European Commission (2020c), Study on the EU's list of Critical Raw Materials. Critical Raw Materials. Factsheets (Final). Internet: <https://op.europa.eu/de/publication-detail/-/publication/8dabb4c1-f894-11ea-991b-01aa75ed71a1> (Abruf vom 19.4.2021).
- EUWID (2020), DSD fordert Maßnahmen zur Rettung des Kunststoffrecyclings. Meldung von EUWID Recycling und Entsorgung vom 8. Juni 2020. Internet: euwid-recycling.de/no_cache/druckversion/news/wirtschaft/einzelansicht/Artikel/dsd-fordert-massnahmen-zur-rettung-des-kunststoffrecyclings.html (Abruf vom 14.6.2021).
- Forti V., C.P. Baldé und R. Kuehr (2018), E-Waste Statistics – guidelines on classification, reporting and indicators. Second Edition. United Nations University. VIE – SCYCLE. Bonn.
- Forti V., C.P. Baldé, R. Kuehr und G. Bel (2020), The Global E-waste Monitor 2020: Quantities, flows and the circular economy potential. United Nations University (UNU)/ United Nations Institute for Training and Research (UNITAR) – co-hosted SCYCLE Programme, International Telecommunication Union (ITU) & International Solid Waste Association (ISWA), Bonn/Geneva/Rotterdam.
- Geologischer Dienst NRW (2011), Rohstoffe in Nordrhein-Westfalen – erkunden, sichern, gewinnen. Krefeld: Geologischer Dienst NRW.
- Geologischer Dienst NRW (2021a), Abgrabungsmonitoring von Nordrhein-Westfalen – Lockergesteine. Monitoringbericht für das Planungsgebiet Detmold. Stand: 01.01.2021. Krefeld: Geologischer Dienst NRW.
- Geologischer Dienst NRW (2021b), Abgrabungsmonitoring von Nordrhein-Westfalen – Lockergesteine. Monitoringbericht für das Planungsgebiet Düsseldorf. Stand: 01.01.2021. Krefeld: Geologischer Dienst NRW.
- Geologischer Dienst NRW (2021c), Abgrabungsmonitoring von Nordrhein-Westfalen – Lockergesteine. Monitoringbericht für das Planungsgebiet Köln. Stand: 01.01.2021. Krefeld: Geologischer Dienst NRW.
- Geologischer Dienst NRW (2021d), Abgrabungsmonitoring von Nordrhein-Westfalen – Lockergesteine. Monitoringbericht für das Planungsgebiet Münster. Stand: 01.01.2021. Krefeld: Geologischer Dienst NRW.
- Geologischer Dienst NRW (2021e), Abgrabungsmonitoring von Nordrhein-Westfalen – Lockergesteine. Monitoringbericht für das Planungsgebiet Regionalverband Ruhr. Stand: 01.01.2021. Krefeld: Geologischer Dienst NRW.
- GERRI – Das Deutsche Forschungsnetzwerk Rohstoffe (2021), Verantwortungsvolle Rohstoffversorgung. Innovationshebel für eine ressourceneffiziente, klimaneutrale und kreislaforientierte Rohstoffwirtschaft. Handlungsempfehlungen. Positionspapier 2021. Hannover: BGR.
- Gillmann, N., R. Lehmann, J. A. Nauerth, J. Ragnitz, J. Sonnenburg und M. Weber (2019), Wachstum und Produktivität 2035. Innovations- und Produktivitätslücken auf Ebene der Bundesländer. *ifo Forschungsberichte* 106. München: ifo Institut.
- Gontermann, A. (2013), Die deutsche Elektroindustrie. *WiSt – Wirtschaftswissenschaftliches Studium* 42(2): 90-93.
- Gontermann, A. und J. Schäfer (2019), Deutsche Elektroindustrie: Zwischen gedämpfter Konjunktur und neuen digitalen Geschäftsmodellen. *ifo Schnelldienst* 72: 29-33.
- Graedel, T.E., J. Allwood, J.P. Birat, M. Buchert, C. Hagelüken, B.K. Reck, S.F. Sibley und G. Sonnemann (2011), What Do We Know About Metal Recycling Rates? USGS Staff. Published Research 596. Internet: digitalcommons.unl.edu/usgsstaffpub/596

- Greif S., E. Günther, B. Bilitewski, H. Hoppe und A. Janz (2007), Ökonomische Analyse der Rückgewinnung von hochwertigen Metallen aus elektrischen und elektronischen Altgeräten in Deutschland. Technische Universität Dresden.
- GTAI – Germany Trade & Invest (2021), Machinery & Equipment Industry. Berlin: GTAI.
- Hanau, A. (1928), Die Prognose der Schweinepreise. *Vierteljahresshefte zur Konjunkturforschung* 7. Berlin: Hobbing.
- Harnick, P. und G. Morris (2020), Reaction: New realities for the global chemical industry. KPMG.
- Havik K., K. Mc Morrow, F. Orlandi, C. Planas, R. Raciborski, W. Roeger, A. Rossi, A. Thum-Thysen und V. Vandermeulen (2014), The Production Function Methodology for Calculating Potential Growth Rates & Output Gaps. *Economic Papers* 535. Brüssel: Europäische Kommission.
- Herrmann, S., M. Kast, C. Kühl, F. Philipp und M. Stuchtey (2021), Verpackungswende jetzt! So gelingt der Wandel zu einer Kreislaufwirtschaft für Kunststoffe in Deutschland. Berlin: WWF Deutschland.
- Hesselmann Service GmbH (2021), Elfes Duales System deutschlandweit genehmigt. Internet: verpackungsge-setz.com/elftes-duales-system-deutschlandweit-genehmigt/ (Abruf vom 11.6.2021).
- houzz (2019), 8 Baustoff-Alternativen: Es muss nicht immer Beton sein. Internet: houzz.de/magazin/8-baustoff-alternativen-es-muss-nicht-immer-beton-sein-stsetivw-vs~124649539 (Abruf vom 15.09.2021).
- HWWI – Hamburgisches WeltWirtschafts Institut (2021), HWWI-Rohstoffpreisindex. Internet: hwwi-rohindex.de (Abruf vom 15.3.2021).
- IN4climate.NRW (2020), Chemisches Kunststoffrecycling – Potenziale und Entwicklungsperspektiven. Ein Beitrag zur Defossilisierung der chemischen und kunststoffverarbeitenden Industrie in NRW. Diskussionspapier der Arbeitsgruppe Circular Economy. Gelsenkirchen. Internet: in4climate.nrw/fileadmin/Nachrichten/2020/Diskussionspapier_Chemisches_Kunststoffrecycling/in4climatenrw-diskussionspapier-chemisches-kunststoffrecycling-web.pdf (Abruf vom 16.6.2021).
- IW – Institut der Deutschen Wirtschaft Köln (2021), IMP-Index. Metallpreisindex eilt von Rekord zu Rekord. Internet: iwkoeln.de/presse/in-den-medien/beitrag/hubertus-bardt-metallpreisindex-eilt-von-rekord-zu-rekord.html (Abruf vom 15.6.2021).
- IW – Institut der Deutschen Wirtschaft Köln Consult GmbH und vbw – Vereinigung der bayerischen Wirtschaft e.V. (2019), Rohstoffsituation der bayerischen Wirtschaft. München: vbw.
- IW – Institut der Deutschen Wirtschaft Köln Consult GmbH, Fraunhofer IAO – Institut für Arbeitswirtschaft und Organisation und Automotiveland.nrw (2021), Zukunft der Automobilwirtschaft in Nordrhein-Westfalen. Status quo, Trends, Szenarien. Köln: IW.
- Koellner W. und W. Fichtler (1996), Recycling von Elektro- und Elektronikschrott. Einführung in die Wiederverwertung für Industrie, Handel und Gebietskörperschaften. Springer Verlag.
- Kögel, G. (2020a), Durchgängige Wertschöpfungskette. K-Zeitung: Länderportrait Nordrhein-Westfalen. Ausgabe 17 vom 11. September 2020. Internet: kunststoffland-nrw.de/download/publikationen/2020_k-zeitung_nrw-spezial.pdf (Abruf vom 16.6.2021).
- Kögel, G. (2020b), Digitaler Zwilling für perfektes Sortieren von Kunststoffabfällen. K-Zeitung: Länderportrait Nordrhein-Westfalen. Ausgabe 17 vom 11. September 2020. Internet: kunststoffland-nrw.de/download/publikationen/2020_k-zeitung_nrw-spezial.pdf (Abruf vom 16.6.2021).
- Kreislaufwirtschaft Bau (2021), Mineralische Bauabfälle. Monitoring 2018. Bericht zum Aufkommen und zum Verbleib mineralischer Bauabfälle im Jahr 2018. Berlin: Bundesverband Baustoffe–Steine und Erden e.V.
- Kummert, A. und S. A. Vogelskamp (Hrsg.) (2017), Automotive-Region Bergisches Städtedreieck 2030. Wuppertal.
- kunststoffland NRW e.V. (2021), Zirkuläre Kunststoffwirtschaft. *Report* 1/2021. Düsseldorf.
- Küster-Simic, A., M. Knigge und J., Schönfeldt (2020), Struktur, Entwicklung und Zukunft der deutschen Stahlindustrie: Eine Branchenanalyse. Working Paper Forschungsförderung.
- LANUV NRW – Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen (2020), Flächenentwicklung in Nordrhein-Westfalen – Berichtsjahre 2017-2019. Internet: flaechenportal.nrw.de/fileadmin/user_upload/20210301_LANUV_Bericht_zur_Flaechenentwicklung_2017_-_2019.pdf (Abruf vom 16.8.2021).
- Liedtke, M. und D. Huy (2018), Rohstoffrisikobewertung – Gallium. *DERA Rohstoffinformationen* 35. Berlin: DERA.
- Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg (2019), Landesstrategie Ressourceneffizienz Baden-Württemberg. Monitoringbericht. Stuttgart.
- Ministerium für Wirtschaft, Mittelstand und Energie des Landes Nordrhein-Westfalen – Landesplanungsbehörde (2005), Rohstoffsicherung in Nordrhein-Westfalen. Düsseldorf.
- Mischler, G. (2019), Maschinenbau: Wo künftig der Umsatz herkommt. Internet: produktion.de/veranstaltungen/deutscher-maschinenbau-gipfel/maschinenbau-wo-kuenftig-der-umsatz-herkommt-371.html (Abruf vom 1.4.2021).

- Mossali, E., N. Picone, L. Gentilini, O. Rodriguez, J. M. Pérez, und M. Colledani (2020). Lithium-ion batteries towards circular economy: A literature review of opportunities and issues of recycling treatments. *Journal of Environmental Management* 264. DOI: 10.1016/j.jenvman.2020.110500.
- MWEIMH – Ministerium für Wirtschaft, Energie, Industrie, Mittelstand und Handwerk des Landes Nordrhein-Westfalen, EPEA Internationale Umweltforschung GmbH und Kienbaum Management Consultants GmbH (2016), Potenzialanalyse einer zirkulären Wertschöpfung im Land Nordrhein-Westfalen. Studie für das Ministerium für Wirtschaft, Energie, Industrie, Mittelstand und Handwerk des Landes Nordrhein-Westfalen. Düsseldorf, Hamburg und Berlin: MWEIMH, EPEA und Kienbaum.
- MULNV NRW – Ministerium für Umwelt, Landwirtschaft, Natur- und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen (2021), Abfallwirtschaftsplan Nordrhein-Westfalen. Teilplan für gefährliche Abfälle. Düsseldorf: MULNV NRW.
- NABU (2020), Chemisches Recycling von Kunststoffen – Potenziale, Risiken und viele offene Fragen. Berlin: Naturschutzbund Deutschland.
- Nad, S. (2020), Der Maschinen- und Anlagenbau 2020: Eine zukunftssichere Branche in Deutschland? Trendreport.
- Nithya R., C. Sivasankari und A. Thirunavukkarasu (2020), Electronic waste generation, regulation and metal recovery: a review. *Environmental Chemistry Letters* 19: 1347-1368.
- Opfinger, M. (2016), Die nordrhein-westfälische Metall- und Elektroindustrie im Jahr 2015. *Ifo Schnelldienst* 69: 25-29.
- Pagliari, M. (2019), An Industry in Transition: The Chemical Industry and the Megatrends Driving Its Forthcoming Transformation. *Angewandte Chemie. International Edition* 58: 11154-11159.
- Parajuly, K., R. Kuehr, A.K. Awasthi, C. Fitzpatrick, J. Lepawsky, E. Smith, R. Widmer und X. Zeng (2019), Future E-Waste Scenarios. Bonn und Osaka: StEP, UNU ViE-SCYCLE und UNEP IETC.
- Peters, J., M. Baumann und M. Weil (2018). Recycling aktueller und zukünftiger Batteriespeicher: Technische, ökonomische und ökologische Implikationen. Karlsruhe: Karlsruher Institut für Technologie (KIT).
- Puls, T. und M. Fritsch (2020), Eine Branche unter Druck: Die Bedeutung der Autoindustrie für Deutschland. IW-Report 43. Köln: IW.
- Reck, B.K., D.B. Müller, K. Rostkowski und T.E. Graedel (2008), Anthropogenic Nickel Cycle: Insights into Use, Trade, and Recycling. *Environmental Science & Technology* 42(9): 3394-3400.
- RECYCLING magazin (2020), BMU: Einschätzung zum chemischen Recycling. Internet: recyclingmagazin.de/2020/02/03/bmu-einschaetzung-zum-chemischen-recycling/ (Abruf vom 16.6.2021).
- Risius, P. und D. Werner (2018), Fachkräftecheck Chemie: Verfügbarkeit von Fachkräften in ausgewählten Berufen am deutschen Arbeitsmarkt am Beispiel der chemischen Industrie. KOFA-Studie 1/2018. Köln: IW.
- Rohrig B. (2015), Smartphones – Smart Chemistry. *Chem-Matters APRIL/MAY* 2015: 10-12.
- Rothgang, M. (2008), Das Innovationsgeschehen in NRW: eine Analyse der forschungsaktiven Sektoren. *RWI Materialien* 42. Essen: RWI.
- Rothgang, M., J. Dehio und R. Janßen-Timmen (2017), Ökonomische Perspektiven des Kunststoffrecyclings – die Rolle des dualen Systems. *RWI Materialien* 118. Essen: RWI.
- Rothgang, M., J. Dehio, R. Janßen-Timmen und J. Stiebale (2018), Sektorfallstudien zu Determinanten der Produktivitätsentwicklung in der Automobilindustrie, im Maschinenbau und bei den Telekommunikationsdienstleistungen. *Studien zum deutschen Innovationssystem* 9. Berlin: EFI.
- RWI – Leibniz-Institut für Wirtschaftsforschung, CEIT – Centrum für Entrepreneurship, Innovation und Transformation, SV Wissenschaftsstatistik und ZEW – Leibniz-Zentrum für Europäische Wirtschaftsforschung GmbH Mannheim (2020), Innovationsbericht Nordrhein-Westfalen. Indikatorenbericht und Bericht zu Status und Mobilität von Humankapital in NRW. Essen: RWI
- RWI – Leibniz-Institut für Wirtschaftsforschung (2021), Kurzfristige Perspektiven der Rohstoffpreisentwicklung. Gutachten im Auftrag des Ministeriums für Wirtschaft, Innovation, Digitalisierung und Energie des Landes Nordrhein-Westfalens. *RWI Projektbericht*. Essen: RWI.
- RWI – Rheinisch-Westfälisches Institut für Wirtschaftsforschung, ISI – Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung und BGR – Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (2006), Trends der Angebots- und Nachfragesituation bei mineralischen Rohstoffen. Essen: RWI.
- Sallaba, M., A. Börsch und N. Andersen (2019), Germany's technology sector – a sector of the future in evolution. Internet: deloitte.com/de/de/pages/trends/study-german-technology-sector.html (Abruf vom 1.4.2021).
- Scheferling, S. (2018), Circular Economy. Wenn der Sand ausgeht. *UmweltDialog-Magazin Nachhaltig Bauen & Wohnen*. Internet: umweltdialog.de/de/wirtschaft/circular-economy/2018/Wenn-der-Sand-ausgeht.php (Abruf vom 15.09.2021).

- Schmidt, M. (2015), Rohstoffrisikobewertung – Platingruppenmetalle Platin, Palladium, Rhodium. *DERA Rohstoffinformationen* 26. Berlin: DERA.
- Schmidt, M. (2017), Rohstoffrisikobewertung – Lithium. *DERA Rohstoffinformationen* 33. Berlin: DERA.
- Schmidt, T., G. Barabas, R. Döhrn und P. Schach (2020), NRW-Wirtschaft löst sich aus dem Shutdown. Konjunkturbericht Nordrhein-Westfalen. Essen: RWI.
- Schüler, K. (GVM) (2020), Aufkommen und Verwertung von Verpackungsabfällen in Deutschland im Jahr 2018. GVM Gesellschaft für Verpackungsmarktforschung mbH im Auftrag des Umweltbundesamtes. Texte 166/2020. Dessau-Roßlau: Umweltbundesamt.
- Staatskanzlei des Landes Nordrhein-Westfalen – Landesplanungsbehörde (2016), Abgrabungsmonitoring Nordrhein-Westfalen – Lockergesteine. Landesbericht Abgrabungsmonitoring. Ergebnisse aus den Monitoringberichten der sechs Planungsgebiete. Zeitraum 2011 bis 2015. Düsseldorf.
- SÜDWIND, Collaborating Centre on Sustainable und CSCP – Consumption and Production Global Nature Fund (2014), Nachhaltige Rohstoffe für den deutschen Automobilsektor. Herausforderungen und Lösungswege. Siegburg.
- Szurliès, M. (2021), Rohstoffrisikobewertung – Nickel. *DERA Rohstoffinformationen* 48. Berlin: DERA.
- Tercero Espinoza, L. und M. Soulier (2017), Defining regional recycling indicators for metals. An extension of global recycling indicators to regional systems with open boundaries. Karlsruhe: Fraunhofer Institute for Systems and Innovation Research ISI.
- UBA – Umweltbundesamt (2019), Substitutionsquote. Ein realistischer Erfolgsmaßstab für die Kreislaufwirtschaft! Position der Ressourcenkommission am Umweltbundesamt (KRU). Dessau-Roßlau: UBA.
- UBA – Umweltbundesamt (2020), Elektroaltgeräte. Internet: umweltbundesamt.de/themen/abfall-ressourcen/produktverantwortung-in-der-abfallwirtschaft/elektroaltgeraete#elektro-nikaltgeraete-in-deutschland (Abruf vom 14.6.2021).
- UGRdL – Umweltökonomische Gesamtrechnung der Länder (2020), Indikatoren & Kennzahlen 2020. Tabellenband. Stuttgart: UGRdL.
- UMSICHT – Fraunhofer-Institut für Umwelt-, Sicherheits- und Energietechnik und iswa Institut für Siedlungswasserbau, Wassergüte und Abfallwirtschaft der Universität Stuttgart (2014), Analyse kritischer Rohstoffe für die Landesregierung Baden-Württemberg. Stuttgart: Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg.
- UNEP (2011a), Recycling Rates of Metals - A Status Report. A Report of the Working Group on the Global Metal Flows to the International Resource Panel. Paris: United Nations Environmental Programme / International Resource Panel.
- UNEP (2011b), Assessing Mineral Resource in Society: Metal Stocks & Recycling Rates. Paris: United Nations Environmental Programme / International Resource Panel.
- USGS – U.S. Geological Survey (2021), Mineral Commodity Summaries 2021. Reston, Virginia: USGS.
- Van Eygen E., S. De Meester, H.P. Tran und J. Dewulf (2016), Resource savings by urban mining: The case of desktop and laptopcomputers in Belgium. *Resources, Conservation and Recycling* 107 (2016): 53-64.
- VCI – Verband der Chemischen Industrie e.V. und Prognos AG (2017), Die deutsche chemische Industrie 2030. Update 2015/16. Frankfurt am Main: VCI.
- VDI Zentrum Ressourceneffizienz (2018), Bewertung der Rohstoffkritikalität. VDI 4800. Blatt 2. Berlin: VDI.
- VDMA (2020), Weltmaschinenumsatz TOP-10-Länder-Ranking. Internet: oe-a.org/documents/105628/47672041/Grafiken%20Weltmaschinenumsatz_1584690790566.pdf/842d2423-79db-1431-3fae-2a445e61036e (Abruf vom 1.4.2020).
- vero – Verband der Bau- und Rohstoffindustrie (2020), Geschäftsbericht 2019/2020. Duisburg: vero.
- Vetter, P. (2020), Jetzt soll Deutschlands Wirtschaft Rohstoffe „hamstern“. Veröffentlicht am 13.7.2020. Internet: welt.de/wirtschaft/article211509387/Wirtschaftsrat-der-CDU-Unternehmen-sollen-Rohstoffe-hamstern.html (Abruf vom 10.7.2021).
- VGRdL – Volkswirtschaftliche Gesamtrechnung der Länder (2020), Bruttoinlandsprodukt, Bruttowertschöpfung in den Ländern der Bundesrepublik Deutschland 1991 bis 2017. Volkswirtschaftliche Gesamtrechnungen der Länder. Reihe 1. Länderergebnisse Band 1. Berechnungsstand August 2019. Stuttgart: Statistisches Landesamt Baden-Württemberg. Sonderauswertung.
- von Hoyningen-Huene, J., T. Rings, F. Forrest und O. Schulz (2012), Chemical Industry Vision 2030: A European Perspective.
- Wikipedia (2021), Periodensystem. Internet: de.wikipedia.org/wiki/Periodensystem#/media/Datei:Periodensystem_Einfach.svg (Abruf vom 19.4.2021).
- Zentrale Stelle (2019), Recyclingquoten 2018. Stand Oktober 2019. Internet: verpackungsregister.org/fileadmin/Auswertungen/Recyclingquoten_2018_Stand_Oktober_2019_.pdf (Abruf vom 9.6.2021).

Zentralverband des Deutschen Baugewerbes e.V. (2020), Baumarkt 2019. Perspektiven 2020. Berlin.

Zukunft Niederrhein – eine Initiative der Sand- und Kiesunternehmen (2021), Wie viel wird exportiert? Internet: zukunft-niederrhein.de/faq-haeufige-fragen-und-antworten (Abruf vom 15.9.2021).

Zukunftsagentur Rheinisches Revier (2021), SofortprogrammPLUS. Gesamtliste aller aktiven Projekte. Stand 16.04.2021. Jülich. Internet: rheinisches-revier.de/media/sterne-gesamtliste-sofortprogrammplus-20210416.pdf (Abruf vom 17.6.2021).

ZVEI – Zentralverband Elektrotechnik- und Elektronikindustrie e.V. (2019), Die deutsche Elektroindustrie im Branchenvergleich. Kennzahlen zu F&E, Innovationen, Patenten, MINT-Kräften und Innovationen. ZVEI-Benchmarking. Frankfurt am Main: ZVEI.

ZVEI – Zentralverband Elektrotechnik- und Elektronikindustrie e.V. (2020a), Die deutsche Elektroindustrie im Branchenvergleich. Kennzahlen zu F&E, Innovationen, Patenten, MINT-Kräften und Innovationen. ZVEI-Benchmarking. Frankfurt am Main: ZVEI.

ZVEI – Zentralverband Elektrotechnik- und Elektronikindustrie e.V. (2020b), Konjunkturpaket setzt richtige Schwerpunkte bei Elektromobilität, Klimaschutz und Digitalisierung. Frankfurt am Main: ZVEI.

Anhang

In der nachfolgenden Liste sind die für diese Studie ausgewerteten Warennummern der Außenhandelsstatistik nach Rohstoffen gruppiert (die Rohstoffe der Seltenerdenmetalle sind mit der Erweiterung (SeE) hinter dem Rohstoffnamen gekennzeichnet, in der Aufstellung aber nicht als Gruppe zusammengefasst). Es wurde eine größtmögliche Abgleichung mit dem Rohstoffinformationssystem ROSYS vorgenommen, um eine weitgehende Kompatibilität zu diesem Datenbestand sicherzustellen.

Abb. A.1: Liste der ausgewerteten Warennummern der Außenhandelsstatistik nach Rohstoffen

Rohstoff	WA-Code	WA-Bezeichnung
Aluminium	WA26060000	Aluminiumerze und ihre Konzentrate
	WA26204000	Aschen und Rückstände, überwiegend Aluminium enthaltend (ausgenommen solche der Eisen- und Stahlherstellung)
	WA28181010	künstlicher Korund, Aluminiumoxid >97,5 GHT (bis 2007)
	WA28181011	künstlicher Korund, auch chemisch nicht einheitlich, mit einem Gehalt an Aluminiumoxid von mehr als 98,5 GHT, weniger als 50% des Gesamtgewichts, eine Korngröße von mehr als 10 mm
	WA28181019	künstlicher Korund, auch chemisch nicht einheitlich, mit einem Gehalt an Aluminiumoxid von mehr als 98,5 GHT, mindestens 50% des Gesamtgewichts, eine Korngröße von mehr als 10 mm
	WA28181091	künstlicher Korund, auch chemisch nicht einheitlich, mit einem Gehalt an Aluminiumoxid von weniger als 98,5 GHT, weniger als 50% des Gesamtgewichts, eine Korngröße von mehr als 10 mm
	WA28181099	künstlicher Korund, auch chemisch nicht einheitlich, mit einem Gehalt an Aluminiumoxid von weniger als 98,5 GHT, mindestens 50% des Gesamtgewichts, eine Korngröße von mehr als 10 mm
	WA28182000	Aluminiumoxid, anderes als künstlicher Korund
	WA28183000	Aluminiumhydroxid
	WA28261200	Aluminiumfluorid
	WA28273200	Aluminiumchlorid
	WA28332200	Aluminiumsulfat
	WA76011000	nichtlegiertes Aluminium in Rohform
	WA76012010	Primäraluminium, legiert, in Rohform (bis 2012)
	WA76012020	Barren und Bolzen aus Aluminiumlegierung in Rohform, gegossen
	WA76012080	Aluminiumlegierungen in Rohform (ausgenommen Barren und Bolzen), Rohblöcken (Ingots) oder in flüssiger Form
	WA76020011	Drehspäne, Frässpäne, Hobelspäne, Schleifspäne, Sägespäne und Feilspäne, Abfälle von bunten, beschichteten oder kaschierten Folien und dünnen Bändern mit einer Dicke (ohne Unterlage) von 0,2 mm oder weniger aus Aluminium
	WA76020019	Abfälle aus Aluminium, einschließlich der fehlerhaften oder bei der Be- od. Verarbeitung unbrauchbar gewordener Werkstücke (ausgenommen Aluminiumabfällen von Folien und dünnen Bändern, Dicke 0,2 mm oder weniger und Späne)
	WA76020090	Schrott aus Aluminium
	WA76031000	Pulver aus Aluminium, ohne Lamellenstruktur
	WA76032000	Pulver mit Lamellenstruktur und Flitter, aus Aluminium
	WA76041010	Stangen (Stäbe) aus nicht legiertem Aluminium
	WA76041090	Profile aus nicht legiertem Aluminium
	WA76042100	Hohlprofile aus Aluminiumlegierungen
	WA76042910	Stangen (Stäbe) aus Aluminiumlegierungen
	WA76042990	Profile aus Aluminiumlegierungen (ausgenommen Hohlprofile)
	WA76051100	Draht aus nicht legiertem Aluminium mit Querschnittsabmessung von mehr als 7 mm
WA76051900	Draht aus nicht legiertem Aluminium mit Querschnittsabmessung von 7 mm oder weniger	
WA76052100	Draht aus Aluminiumlegierungen mit Querschnittsabmessung von mehr als 7mm	

Rohstoff	WA-Code	WA-Bezeichnung
Aluminium	WA76052900	Draht aus Aluminiumlegierungen mit Querschnittsabmessung von 7mm oder weniger
	WA76061110	Bleche und Bänder aus nicht legiertem Aluminium mit einer Dicke von mehr als 0,2 mm, quadratisch oder rechteckig, mit Farbe versehen, lackiert oder mit Kunststoff beschichtet
	WA76061191	Bleche und Bänder aus nicht legiertem Aluminium, quadratisch oder rechteckig, mit einer Dicke von weniger als 3 mm, jedoch mehr als 0,2 mm (ausgenommen mit Farbe versehen, lackiert oder mit Kunststoff beschichtet)
	WA76061193	Bleche und Bänder aus nicht legiertem Aluminium, quadratisch oder rechteckig, mit einer Dicke von 3 mm oder mehr, jedoch weniger als 6 mm (ausgenommen mit Farbe versehen, lackiert oder mit Kunststoff beschichtet)
	WA76061199	Bleche und Bänder aus nicht legiertem Aluminium, quadratisch oder rechteckig, mit einer Dicke von 6 mm oder mehr (ausgenommen mit Farbe versehen, lackiert oder mit Kunststoff beschichtet)
	WA76061210	Bänder für Jalousien, Aluminiumlegierungen (bis 2010)
	WA76061211	Bänder für Getränkedosenkörper aus Aluminiumlegierungen mit einer Dicke von mehr als 0,2 mm, quadratisch oder rechteckig
	WA76061219	Bänder für Getränkedosendeckel und Getränkedosenlaschen aus Aluminiumlegierungen mit einer Dicke von mehr als 0,2mm, quadratisch oder rechteckig
	WA76061220	Bleche und Bänder aus Aluminiumlegierungen mit einer Dicke von mehr als 0,2 mm, quadratisch oder rechteckig, mit Farbe versehen, lackiert oder mit Kunststoff beschichtet
	WA76061250	Bleche und Bänder aus Aluminiumlegierungen, lackiert (bis 2010)
	WA76061291	Bleche und Bänder aus Aluminiumlegierungen, >0,2-3 mm (bis 2010)
	WA76061292	Bleche und Bänder aus Aluminiumlegierungen mit einer Dicke von > 0,2 mm, jedoch < 3 mm, quadratisch oder rechteckig (ausgenommen mit Farbe versehen, lackiert oder mit Kunststoff beschichtet, Streckbleche oder -bänder)
	WA76061293	Bleche und Bänder aus Aluminiumlegierungen mit einer Dicke von >= 3mm, jedoch < 6 mm, quadratisch oder rechteckig (ausgenommen mit Farbe versehen, lackiert oder mit Kunststoff beschichtet)
	WA76061299	Bleche und Bänder aus Aluminiumlegierungen mit einer Dicke von >= 6mm, quadratisch oder rechteckig (ausgenommen mit Farbe versehen, lackiert oder Kunststoff beschichtet)
	WA76069100	Bleche und Bänder aus nicht legiertem Aluminium mit einer Dicke von mehr als 0,2 mm (ausgenommen quadratisch oder rechteckig)
	WA76069200	Bleche und Bänder aus Aluminiumlegierungen mit einer Dicke von mehr als 0,2 mm (ausgenommen quadratisch oder rechteckig)
	WA76071111	Folien und dünne Bänder aus Aluminium, ohne Unterlage, nur gewalzt, mit einer Dicke von weniger als 0,021 mm, in Rollen mit einem Stückgewicht von 10 kg oder weniger
	WA76071119	Andere Folien und dünne Bänder aus Aluminium, ohne Unterlage, nur gewalzt, mit einer Dicke von weniger als 0,021 mm, anderweitig weder genannt noch inbegriffen
	WA76071190	Folien und dünne Bänder aus Aluminium, ohne Unterlage, nur gewalzt, mit einer Dicke von 0,021 mm bis 0,2 mm
	WA76071910	Folien und dünne Bänder aus Aluminium, auch bedruckt, ohne Unterlage, mit einer Dicke von weniger als 0,021 mm (ausgenommen nur gewalzt)
	WA76071990	Folien und dünne Bänder aus Aluminium, auch bedruckt, ohne Unterlage, mit einer Dicke von 0,021 mm bis 0,2 mm (ausgenommen nur gewalzt)
	WA76071991	Folien u.a. aus Aluminium, selbstklebend (bis 2010)
	WA76071999	Folien u.a. aus Aluminium, nicht klebend (bis 2010)
	WA76072010	Folien und dünne Bänder aus Aluminium, auch bedruckt, auf Unterlagen aus Papier, Pappe, Kunststoff oder ähnlichen Unterlagen, mit einer Dicke (ohne Unterlage) von weniger als 0,021 mm
	WA76072090	Folien und dünne Bänder aus Aluminium, auch bedruckt, auf Unterlagen aus Papier, Pappe, Kunststoff oder ähnlichen Unterlagen, mit einer Dicke (ohne Unterlage) von 0,021 mm bis 0,2 mm
	WA76072091	Folien u.a. aus Aluminium, Unterlage, klebend (bis 2010)
	WA76072099	Folien u.a. aus Aluminium, Unterlage (bis 2010)

Rohstoff	WA-Code	WA-Bezeichnung
Antimon	WA26171000	Antimonerze und ihre Konzentrate
	WA28258000	Antimonoxide
	WA81101000	Antimon in Rohform, Pulver aus Antimon
	WA81102000	Abfälle und Schrott aus Antimon
Blei	WA26070000	Bleierze und ihre Konzentrate
	WA26202900	Aschen und Rückstände, überwiegend Blei enthaltend (ausgenommen solche der Eisen- und Stahlherstellung)
	WA28241000	Bleimonoxid (Lithargyrum, Massicot)
	WA28249000	Mennige und Orangemennige (ausgenommen Bleimonoxid (Lithargyrum, Massicot))
	WA28332960	Bleisulfat
	WA78011000	raffiniertes Blei in Rohform
	WA78019100	Blei in Rohform, Antimon als gewichtsmäßig vorherrschendes anderes Element enthaltend (ausgenommen raffiniertes Blei)
	WA78019910	Blei in Rohform mit einem Silbergehalt von mehr als 0,02 GHT zum Raffinieren (Werkblei), ausgenommen Antimon als gewichtsmäßig vorherrschendes anderes Element
	WA78019990	Blei in Rohform (ausgenommen mit einem Silbergehalt von 0,02 GHT oder mehr zum Raffinieren (Werkblei))
	WA78019999	Blei in Rohform anderweitig nicht genannt (bis 2010)
	WA78020000	Abfälle und Schrott aus Blei
	WA78041100	Bänder und Folien mit einer Dicke (ohne Unterlage) von 0,2 mm oder weniger aus Blei
	WA78041900	Platten, Bleche, Bänder und Folien aus Blei, ausgenommen Bänder und Folien, mit einer Dicke (ohne Unterlage) von 0,2 mm oder weniger
	WA78042000	Pulver und Flitter aus Blei
Chrom	WA26100000	Chromerze und ihre Konzentrate
	WA28191000	Chromtrioxid
	WA28199010	Chromdioxid
	WA28199090	Chromoxide und -hydroxide (ausgenommen Chromtrioxid und Chromdioxid)
	WA28413000	Natriumdichromat
	WA28415000	Chromate und Dichromate anderweitig weder genannt noch inbegriffen, Peroxochromate (ausgenommen Verbindungen des Quecksilbers)
	WA32062000	Pigmente und Zubereitungen, Chromverbindungen
	WA81122110	Chromlegierungen in Rohform, Pulver aus Chromlegierungen mit einem Nickelgehalt von mehr als 10 GHT
	WA81122190	Chrom in Rohform, Pulver aus Chrom (ausgenommen Chromlegierungen mit einem Nickelgehalt von mehr als 10 GHT)
WA81122200	Abfälle und Schrott aus Chrom	
Dysprosium (SeE)	WA28053030	Europium, Gadolinium, Terbium, Dysprosium, Holmium, Erbium, Thulium, Ytterbium, Lutetium und Yttrium, mit einem Reinheitsgrad von 95 GHT oder mehr (nicht untereinander gemischt oder miteinander legiert)
	WA28469020	Europium-, Gadolinium-, Terbium-, Dysprosium-, Holmium-, Erbium-, Thulium-, Ytterbium-, Lutetium- oder Yttriumverbindungen, anorganisch oder organisch
Gallium	WA81129289	Gallium in Rohform, Pulver
Germanium	WA81123020	Germanium in Rohform, Pulver (bis 2006)
	WA81129295	Germanium in Rohform, Pulver
Gold	WA28433000	Goldverbindungen
	WA71081100	Gold (einschließlich platinisiertes Gold) in Pulverform zu nicht monetären Zwecken
	WA71081200	Gold (einschließlich platinisiertes Gold), in Form von Granalien oder in anderer Rohform zu nichtmonetären Zwecken
	WA71081310	Stäbe, Drähte und Profile massiv sowie Bleche und Bänder mit einer Dicke (ohne Unterlage) von mehr als 0,15 mm, aus Gold, einschließlich platinisiertes Gold, zu nichtmonetären Zwecken

Rohstoff	WA-Code	WA-Bezeichnung
Gold	WA71081380	Gold, einschl. platinierteres Gold, als Halbzeug zu nichtmonetären Zwecken (ausgenommen massive Stäbe), Drähte und Profile, Bleche und Bänder mit einer Dicke (ohne Unterlage) von mehr als 0,15 mm
	WA71090000	Goldplattierungen auf unedlen Metallen oder auf Silber in Rohform oder als Halbzeug
	WA71129100	Abfälle und Schrott von Gold, einschließlich Goldplattierungen, ausgenommen andere Edelmetalle enthaltende Rückstände (Gekrätz)
Graphit	WA25041000	natürlicher Graphit in Pulverform oder in Flocken
	WA25049000	natürlicher Graphit (ausgenommen in Pulverform oder in Flocken)
	WA38011000	künstlicher Graphit
	WA38012010	kolloider Graphit in öliger Suspension und halbkolloider Graphit
	WA38012090	kolloider Graphit nicht in öliger Suspension
Indium	WA81129281	Indium in Rohform, Pulver
Kobalt	WA26050000	Kobalterze und ihre Konzentrate
	WA28220000	Kobaltoxide und -hydroxide, handelsübliche Kobaltoxide
	WA28273930	Kobaltchloride
	WA81052000	Kobaltmatte und andere Zwischenerzeugnisse der Kobaltmetallurgie, Kobalt in Rohform; Pulver aus Kobalt
	WA81053000	Abfälle und Schrott aus Kobalt
Kupfer	WA26030000	Kupfererze und ihre Konzentrate
	WA26203000	Aschen und Rückstände, überwiegend Kupfer enthaltend (ausgenommen solche der Eisen- und Stahlherstellung)
	WA28255000	Kupferoxide und -hydroxide
	WA28274100	Kupferchloridoxid und -chloridhydroxid
	WA28332500	Kupfersulfate
	WA28342940	Kupfernitrate
	WA74010000	Kupfermatte, Zementkupfer (gefälltes Kupfer)
	WA74011000	Kupfermatte (bis 2006)
	WA74012000	Zementkupfer (gefälltes Kupfer) (bis 2006)
	WA74020000	nicht raffiniertes Kupfer, Kupferanoden zum elektrolytischen Raffinieren
	WA74031100	raffiniertes Kupfer in Rohform, Kathoden und Kathodenabschnitte
	WA74031200	raffiniertes Kupfer in Rohform, Drahtbarren
	WA74031300	raffiniertes Kupfer in Rohform, Knüppel
	WA74031900	raffiniertes Kupfer in Rohform (ausgenommen Kathoden und Kathodenabschnitte, Drahtbarren und Knüppel)
	WA74032100	Kupfer-Zink-Legierungen (Messing) in Rohform
	WA74032200	Kupfer-Zinn-Legierungen (Bronze) in Rohform
	WA74032300	Kupfer-Nickel-, Kupfer-Nickel-Zink-Legierungen (bis 2006)
	WA74032900	Kupferlegierungen in Rohform (ausgenommen Messing, Bronze sowie Kupferverlegierungen der Position 7405)
	WA74040010	Abfälle und Schrott aus raffiniertem Kupfer
	WA74040091	Abfälle und Schrott aus Kupfer-Zink-Legierungen (Messing)
	WA74040099	Abfälle und Schrott aus Kupferlegierungen (ausgenommen Kupfer-Zink-Legierungen)
	WA74050000	Kupferverlegierungen
	WA74061000	Pulver aus Kupfer ohne Lamellenstruktur
	WA74062000	Pulver aus Kupfer mit Lamellenstruktur und Flitter aus Kupfer
	WA74071000	Stangen (Stäbe) und Profile aus raffiniertem Kupfer
	WA74072110	Stangen (Stäbe) aus Kupfer-Zink-Legierungen (Messing)
	WA74072190	Profile aus Kupfer-Zink-Legierungen (Messing)
WA74072210	Stangen und Profile aus Kupfer-Nickel-Legierungen (bis 2006)	

Rohstoff	WA-Code	WA-Bezeichnung
Kupfer	WA74072290	Stangen u.a. aus Kupfer-Nickel-Zink-Legierungen (bis 2006)
	WA74072900	Stangen (Stäbe) und Profile aus Kupferlegierungen (ausgenommen aus Messing)
	WA74072910	Stangen u.a. aus Kupfer-Nickel-Legierungen (bis 2010)
	WA74072990	Stangen u.a. aus Kupferlegierungen anderweitig nicht genannt (bis 2010)
	WA74081100	Draht aus raffiniertem Kupfer mit einer größten Querschnittsabmessung von mehr als 6 mm
	WA74081910	Draht aus raffiniertem Kupfer mit einer größten Querschnittsabmessung von mehr als 0,5 mm bis 6 mm
	WA74081990	Draht aus raffiniertem Kupfer mit einer größten Querschnittsabmessung von 0,5 mm oder weniger
	WA74082100	Draht aus Kupfer-Zink-Legierungen (Messing)
	WA74082200	Draht aus Kupfer-Nickel-Legierungen (Kupfernicker) oder aus Kupfer-Nickel-Zink-Legierungen (Neusilber)
	WA74082900	Draht aus Kupferlegierungen anderweit weder genannt noch inbegriffen (ausgenommen aus Messing, Kupfernicker oder Neusilber)
	WA74091100	Bleche und Bänder aus raffiniertem Kupfer mit einer Dicke von mehr als 0,15 mm in Rollen
	WA74091900	Bleche und Bänder aus raffiniertem Kupfer mit einer Dicke von mehr als 0,15 mm (ausgenommen in Rollen)
	WA74092100	Bleche und Bänder aus Kupfer-Zink-Legierungen (Messing) mit einer Dicke von mehr als 0,15 mm in Rollen
	WA74092900	Bleche und Bänder aus Kupfer-Zink-Legierungen (Messing) mit einer Dicke von mehr als 0,15 mm (ausgenommen in Rollen)
	WA74093100	Bleche und Bänder aus Kupfer-Zinn-Legierungen (Bronze) mit einer Dicke von mehr als 0,15 mm in Rollen
	WA74093900	Bleche und Bänder aus Kupfer-Zinn-Legierungen (Bronze) mit einer Dicke von mehr als 0,15 mm (ausgenommen in Rollen)
	WA74094000	Bleche und Bänder aus Kupfer-Nickel-Legierungen (Kupfernicker) oder Kupfer-Nickel-Zink-Legierungen (Neusilber)
	WA74094010	Bleche und Bänder aus Kupfer-Nickel-Legierungen (bis 2010)
	WA74094090	Bleche und Bänder aus Kupfer-Nickel-Zink-Legierungen (bis 2010)
	WA74099000	Bleche und Bänder aus Kupferlegierungen mit einer Dicke von mehr als 0,15 mm (ausgenommen aus Messing, Bronze, Kupfernicker oder Neusilber)
WA74101100	Folien und dünne Bänder aus raffiniertem Kupfer, auch bedruckt, ohne Unterlage, mit einer Dicke von 0,15 mm oder weniger	
WA74101200	Folien und dünne Bänder aus Kupferlegierungen, auch bedruckt, ohne Unterlage, mit einer Dicke von 0,15 mm oder weniger	
WA74102100	Folien und dünne Bänder aus raffiniertem Kupfer, auch bedruckt, auf Papier, Pappe, Kunststoff oder ähnlichen Unterlagen, mit einer Dicke (ohne Unterlage) von 0,15 mm oder weniger	
WA74102200	Folien und dünne Bänder aus Kupferlegierungen, auch bedruckt, auf Papier, Pappe, Kunststoff oder ähnlichen Unterlagen, mit einer Dicke (ohne Unterlage) von 0,15 mm oder weniger	
Lithium	WA28252000	Lithiumoxid und -hydroxid
	WA28369100	Lithiumcarbonate
Magnesium	WA28161000	Magnesiumhydroxid und -peroxid
	WA28273100	Magnesiumchlorid
	WA28332100	Magnesiumsulfat
	WA81041100	Magnesium in Rohform mit einem Magnesiumgehalt von 99,8 GHT oder mehr
	WA81041900	Magnesium in Rohform (außer mit einem Magnesiumgehalt von 99,8GHT oder mehr)
	WA81042000	Abfälle und Schrott aus Magnesium
	WA81043000	Drehspäne und Körner nach Größe sortiert, Pulver, aus Magnesium

Rohstoff	WA-Code	WA-Bezeichnung
Mangan	WA26020000	Manganerze und ihre Konzentrate einschließlich eisenhaltiger Manganerze und ihrer Konzentrate mit einem Gehalt an Mangan von 20 GHT oder mehr (bezogen auf die Trockenmasse)
	WA28201000	Mangandioxid
	WA28209010	Manganoxid mit einem Gehalt an Mangan von 77 GHT oder mehr
	WA28209090	Manganoxide (ausgenommen Mangandioxide und Manganoxid mit einem Gehalt an Mangan von 77 GHT oder mehr)
	WA28416100	Kaliumpermanganat
	WA28416900	Manganite, Manganate und Permanganate (ausgenommen Kaliumpermanganat)
	WA81110011	Mangan in Rohform, Pulver aus Mangan
	WA81110019	Abfälle und Schrott aus Mangan
Molybdän	WA26131000	Molybdänerze und ihre Konzentrate, geröstet
	WA26139000	Molybdänerze und ihre Konzentrate, nicht geröstet
	WA28257000	Molybdänoxide und -hydroxide
	WA28417000	Molybdate
	WA81021000	Pulver aus Molybdän
	WA81029400	Molybdän in Rohform, einschließlich nur gesinterte Stangen (Stäbe)
	WA81029500	Stangen (Stäbe), außer nur gesinterte, Profile, Bleche, Bänder und Folien aus Molybdän
	WA81029600	Draht aus Molybdän
	WA81029700	Abfälle und Schrott aus Molybdän
Neodym (SeE)	WA28053020	Cer, Lanthan, Praseodym, Neodym und Samarium mit einem Reinheitsgrad von 95 GHT oder mehr (nicht untereinander gemischt oder miteinander legiert)
	WA28469010	Lanthan-, Praseodym-, Neodym- oder Samariumverbindungen, anorganisch oder organisch
Nickel	WA26040000	Nickelerze und ihre Konzentrate
	WA26209910	Aschen und Rückstände überwiegend Nickel enthaltend (ausgenommen solche der Eisen- und Stahlherstellung)
	WA28254000	Nickeloxide und -hydroxide
	WA28273500	Nickelchloride
	WA28332400	Nickelsulfate
	WA75011000	Nickelmatte
	WA75012000	Nickeloxidsinter und andere Zwischenerzeugnisse der Nickelmetallurgie
	WA75021000	nichtlegiertes Nickel in Rohform
	WA75022000	Nickellegierungen in Rohform
	WA75030010	Abfälle und Schrott aus nichtlegiertem Nickel
	WA75030090	Abfälle und Schrott aus Nickellegierungen
	WA75040000	Pulver und Flitter aus Nickel
	WA75051100	Stangen (Stäbe) und Profile aus nichtlegiertem Nickel
	WA75051200	Stangen (Stäbe) und Profile aus Nickellegierungen
	WA75052100	Draht aus nichtlegiertem Nickel
	WA75052200	Draht aus Nickellegierungen
WA75061000	Bleche, Bänder und Folien aus nichtlegiertem Nickel	
Palladium	WA71102100	Palladium in Form von Granalien, in anderer Rohform oder als Pulver
	WA71102900	Palladium (ausgenommen in Rohform oder als Pulver)
Platin	WA71101100	Platin in Form von Granalien, in anderer Rohform oder als Pulver
	WA71101910	massive Stäbe, Drähte und Profile, Bleche und Bänder aus Platin mit einer Dicke (ohne Unterlage) von mehr als 0,15 mm
	WA71101980	Platin als Halbzeug (ausgenommen massive Stäbe), Drähte und Profile, Bleche und Bänder mit einer Dicke (ohne Unterlage) von mehr als 0,15 mm

Rohstoff	WA-Code	WA-Bezeichnung
Platin	WA71110000	Platinplattierungen auf unedlen Metallen, auf Silber oder auf Gold, in Rohform oder als Halbzeug
	WA71129200	Abfälle und Schrott von Platin einschließlich Platinplattierungen (ausgenommen andere Edelmetalle enthaltende Rückstände (Gekrätz))
Praseodym (SeE)	WA28053020	Cer, Lanthan, Praseodym, Neodym und Samarium mit einem Reinheitsgrad von 95 GHT oder mehr (nicht untereinander gemischt oder miteinander legiert)
	WA28469010	Lanthan-, Praseodym-, Neodym- oder Samariumverbindungen, anorganisch oder organisch
Rhodium	WA71103100	Rhodium in Form von Granalien, anderer Rohform oder als Pulver
	WA71103900	Rhodium (ausgenommen in Rohform oder als Pulver)
Scandium	WA28053010	Seltenerdmetalle, Scandium und Yttrium (gemischt oder miteinander legiert)
	WA28053040	Scandium mit einem Reinheitsgrad von 95 GHT oder mehr (unvermischt und unlegiert)
	WA28053080	Seltenerdmetalle, Scandium und Yttrium mit einem Reinheitsgrad von weniger als 95 GHT (nicht untereinander gemischt oder miteinander legiert)
	WA28053090	Seltenerdmetalle Scandium und Yttrium (bis 2015)
	WA28469030	Scandiumverbindungen, anorganisch oder organisch
	WA28469090	Verbindungen von Seltenerdmetallgemischen aus Scandium und Yttriums, anorganisch oder organisch
Silber	WA26161000	Silbererze und ihre Konzentrate
	WA28431010	Silber im kolloidem Zustand
	WA28432100	Silbernitrat
	WA28432900	Silberverbindungen (ausgenommen Silbernitrat)
	WA71061000	Silber (einschließlich vergoldetes oder platinirtes Silber) als Pulver
	WA71069100	Silber (einschließlich vergoldetes oder platinirtes Silber) in Form von Granalien oder in anderer Rohform
	WA71069110	Silber in Rohform, Feingehalt $\geq 999\ 0/00$ (bis 2010) g
	WA71069190	Silber in Rohform, Feingehalt $< 999\ 0/00$ (bis 2010) g
	WA71069200	Silber (einschließlich vergoldetes oder platinirtes Silber) als Halbzeug
	WA71069220	Silber als Halbzeug, Feingehalt $\geq 750\ 0/00$ (bis 2010) g
	WA71069280	Silber als Halbzeug, Feingehalt $< 750\ 0/00$ (bis 2010) g
	WA71070000	Silberplattierungen auf unedlen Metallen in Rohform oder als Halbzeug
Silizium	WA28046100	Silizium mit einem Gehalt an Silizium von 99,99 GHT oder mehr
	WA28046900	Silizium mit einem Gehalt an Silizium von weniger als 99,99 GHT
	WA28492000	Siliziumcarbid, auch chemisch nicht einheitlich
	WA38180010	dotiertes Silizium zur Verwendung in der Elektronik, in Scheiben oder Plättchen
Tantal	WA81032000	Tantal in Rohform einschließlich nur gesinterte Stangen (Stäbe) und Pulver aus Tantal
	WA81033000	Abfälle und Schrott aus Tantal
	WA81039010	Stangen (Stäbe) (ausgenommen nur gesinterte), Profile, Draht, Bleche, Bänder und Folien aus Tantal
Titan	WA26140000	Titanerze und ihre Konzentrate
	WA28230000	Titanoxide
	WA32061100	Pigmente und Zubereitungen über 80 GHT
	WA32061900	Pigmente und Zubereitungen bis 80 GHT
	WA81082000	Titan in Rohform, Pulver aus Titan
	WA81083000	Abfälle und Schrott aus Titan
	WA81089030	Stangen (Stäbe), Profile und Draht aus Titan
	WA81089050	Bleche, Bänder und Folien aus Titan
Vanadium	WA26159090	Vanadiumerze und -konzentrate (bis 2009)
	WA28253000	Vanadiumoxide und -hydroxide
	WA81129291	Vanadium in Rohform, Pulver

Rohstoff	WA-Code	WA-Bezeichnung
Wolfram	WA26110000	Wolframerze und ihre Konzentrate
	WA28259040	Wolframoxide und -hydroxide
	WA28418000	Wolframate
	WA28499030	Wolframcarbid, auch chemisch nicht einheitlich
	WA81011000	Pulver aus Wolfram
	WA81019400	Wolfram in Rohform einschließlich nur gesinterte Stangen (Stäbe)
	WA81019600	Draht aus Wolfram
	WA81019700	Abfälle und Schrott aus Wolfram
	WA81019910	Stangen (Stäbe) (außer nur gesinterte), Profile, Bleche, Bänder und Folien, aus Wolfram
	Yttrium (SeE)	WA28053010
WA28053030		Europium, Gadolinium, Terbium, Dysprosium, Holmium, Erbium, Thulium, Ytterbium, Lutetium und Yttrium mit einem Reinheitsgrad von 95 GHT oder mehr (nicht untereinander gemischt oder miteinander legiert)
WA28053080		Seltenerdmetalle Scandium und Yttrium mit einem Reinheitsgrad von weniger als 95 GHT (nicht untereinander gemischt oder miteinander legiert)
WA28053090		Seltenerdmetalle Scandium und Yttrium (bis 2015)
WA28469020		Europium-, Gadolinium-, Terbium-, Dysprosium-, Holmium-, Erbium-, Thulium-, Ytterbium-, Lutetium- oder Yttriumverbindungen, anorganisch oder organisch
WA28469090		Verbindungen von Seltenerdmetallgemischen, Yttriums und Scandium, anorganisch oder organisch
Zink		WA26080000
	WA26201100	Galvanisationsmatte (Hartzink), überwiegend Zink enthaltend
	WA28170000	Zinkoxid; Zinkperoxid
	WA79011100	nichtlegiertes Zink in Rohform mit einem Zinkgehalt von 99,99 GHT oder mehr
	WA79011210	nichtlegiertes Zink in Rohform mit einem Zinkgehalt von 99,95 GHT oder mehr, jedoch weniger als 99,99 GHT
	WA79011230	nichtlegiertes Zink in Rohform mit einem Zinkgehalt von 98,5 GHT oder mehr, jedoch weniger als 99,95 GHT
	WA79011290	nichtlegiertes Zink in Rohform mit einem Zinkgehalt von 97,5 GHT oder mehr, jedoch weniger als 98,5 GHT
	WA79012000	Zinklegierungen in Rohform
	WA79020000	Abfälle und Schrott aus Zink
	WA79031000	Zinkstaub
	WA79039000	Pulver und Flitter aus Zink
	WA79040000	Stangen (Stäbe), Profile und Draht aus Zink
	WA79050000	Bleche, Bänder und Folien aus Zink
Zinn	WA26090000	Zinnerze und ihre Konzentrate
	WA26209940	Aschen und Rückstände mit überwiegend Zinn enthaltend (ausgenommen solche der Eisen- und Stahlherstellung)
	WA28273910	Zinnchloride
	WA80011000	nichtlegiertes Zinn in Rohform
	WA80012000	Zinnlegierungen in Rohform
	WA80020000	Abfälle und Schrott aus Zinn
	WA80030000	Stangen (Stäbe), Profile und Draht aus Zinn
Steine, Erden	WA25010031	Salz zur Spaltung in Na und Cl
	WA25010051	Salz, vergällt, Industrie
	WA25020000	Schwefelkies, nicht geröstet
	WA25030010	Schwefel aller Art, roh oder nicht raffiniert
	WA25030090	Schwefel aller Art
	WA25041000	natürlicher Graphit in Pulverform oder Flocken

Rohstoff	WA-Code	WA-Bezeichnung
Steine, Erden	WA25049000	natürlicher Graphit
	WA25051000	natürliche kieselsaure Sande und Quarzsande
	WA25059000	natürliche Sande aller Art, auch gefärbt
	WA25061000	Quarz
	WA25062000	Quarzite
	WA25062100	Quarzite, roh oder grob behauen (bis 2006)
	WA25062900	Quarzite, durch Sägen zerteilt, in Blöcken (bis 2006)
	WA25070020	Kaolin, roh
	WA25070080	kaolinhaltiger Ton und Lehm, auch gebrannt
	WA25081000	Bentonit, auch gebrannt
	WA25082000	Bleicherden und Walkerden, auch gebrannt (bis 2006)
	WA25083000	feuerfester Ton und Lehm
	WA25084000	Ton und Lehm, auch gebrannt
	WA25085000	Andalusit, Cyanit und Sillimanit, auch gebrannt
	WA25086000	Mullit, auch gebrannt
	WA25087000	Schamotte-Körnungen und Ton-Dinasmassen
	WA25090000	Kreide, nicht geformt
	WA25101000	natürliche Calciumphosphate, nicht gemahlen
	WA25102000	natürliche Calciumphosphate, gemahlen
	WA25111000	natürliches Bariumsulfat
	WA25112000	natürliches Bariumcarbonat, auch gebrannt
	WA25120000	Kieselgur, Tripel, Diatomit u.a.
	WA25131000	Bimsstein
	WA25131100	Bimsstein, roh, einschließlich gebrochener Bimssteine (bis 2006)
	WA25131900	Bimsstein, zerstoßen oder gemahlen (bis 2006)
	WA25132000	Schmirgel, natürlicher Korund u.a.
	WA25140000	Tonschiefer, auch grob behauen, in Blöcken
	WA25151100	Marmor und Travertin, roh oder grob behauen
	WA25151200	Marmor und Travertin, in Blöcken oder Platten
	WA25151220	Marmor und Travertin, in Blöcken, <= 4 cm (bis 2009)
	WA25151250	Marmor und Travertin, in Blöcken, > 4-25 cm (bis 2009)
	WA25151290	Marmor und Travertin, in Blöcken, > 25cm (bis 2009)
	WA25152000	Ecaussine u.a. Werksteine aus Kalkstein
	WA25161100	Granit, roh oder grob behauen
	WA25161200	Granit, in Blöcken oder Platten
	WA25161210	Granit, in Blöcken, <= 25cm (bis 2009)
	WA25161290	Granit, in Blöcken, > 25 cm (bis 2009)
	WA25162000	Sandstein
	WA25162100	Sandstein, roh oder grob behauen (bis 2006)
	WA25162200	Sandstein, in Blöcken oder Platten (bis 2006)
	WA25169000	andere Werksteine, in Blöcken oder Platten
WA25171010	Feldsteine und Kies, wärmebehandelt	
WA25171020	Dolomit und Kalksteine, zerkleinert	
WA25171080	zerkleinerte Steine (beim Betonbau verwendet)	
WA25172000	Makadam aus Schlacken, mit Kies vermischt	
WA25173000	Teermakadam	
WA25174100	Körnungen, Splitter und Mehl aus Marmor	
WA25174900	Körnungen, Splitter und Mehl von Kalksteinen	

Rohstoff	WA-Code	WA-Bezeichnung
Steine, Erden	WA25181000	Dolomit, weder gebrannt noch gesintert
	WA25182000	Dolomit, gebrannt oder gesintert
	WA25183000	Dolomitstampfmasse
	WA25191000	Natürliches Magnesiumcarbonat (Magnesit)
	WA25199010	Magnesiumoxid
	WA25199030	totgebrannte Magnesia, mit Zusatz von Oxiden
	WA25199090	Magnesia, geschmolzen
	WA25201000	Gipsstein und Anhydrit, roh gemahlen
	WA25202000	Gips anderweitig nicht genannt
	WA25202010	Baugips, auch gefärbt (bis 2009)
	WA25202090	Gips anderweitig nicht genannt, auch gefärbt (bis 2009)
	WA25210000	Kalksteine zum Herstellen von Kalk oder Zement
	WA25221000	Luftkalk, ungelöscht
	WA25222000	Luftkalk, gelöscht
	WA25223000	hydraulischer Kalk
	WA25240000	Asbest (bis 2006)
	WA25241000	Krokydolith
	WA25249000	Asbest
	WA25251000	Glimmer, roh oder in ungleichmäßigen Blättern
	WA25252000	Glimmerpulver
	WA25253000	Glimmerabfall
	WA25261000	natürlicher Speckstein und Talk, nicht zerkleinert
	WA25262000	natürlicher Speckstein und Talk, zerkleinert
	WA25280000	natürliche Borate und ihre Konzentrate
	WA25281000	natürliche Natriumborate und ihre Konzentrate (bis 2011)
	WA25289000	natürliche Borate und ihre Konzentrate (bis 2011)
	WA25291000	Feldspat
	WA25292100	Flussspat mit Calciumfluoridgehalt bis 97 GHT
	WA25292200	Flussspat mit Calciumfluoridgehalt über 97 GHT
	WA25293000	Leuzit, Nephelin und Nephelinsyenit
	WA25301000	Vermiculit, Perlit und Chlorite, nicht gebläht
	WA25301010	Perlit, nicht gebläht (bis 2009)
	WA25301090	Vermiculit und Chlorite, nicht gebläht (bis 2009)
WA25302000	Kieserit und Epsomit	
WA25309000	mineralische Stoffe anderweitig nicht genannt	
WA25309020	Sepiolith (bis 2009)	
WA25309098	mineralische Stoffe anderweitig nicht genannt (bis 2009)	
WA25969999	Zuschätzungen für Antwortausfälle (Kapitel 25)	
WA25979999	Zuschätzungen für Befreiungen (Kapitel 25)	
WA25999999	Zuschätzungen (Kapitel 25) (bis 2015)	

Eigene Darstellung nach Angaben von ROSYS (DERA 2021).

Impressum

Herausgeber:

Ministerium für Wirtschaft, Innovation,
Digitalisierung und Energie
des Landes Nordrhein-Westfalen

Berger Allee 25
40213 Düsseldorf

Tel.: +49 (0) 211/61772-0

Fax: +49 (0) 211/61772-777

Internet: www.wirtschaft.nrw

Diese Studie wurde vom RWI – Leibniz-Institut für
Wirtschaftsforschung erstellt. Auftraggeber war das
Ministerium für Wirtschaft, Innovation, Digitalisie-
rung und Energie des Landes Nordrhein-Westfalen.

Bildnachweis:

© Adobe Stock, nokturnal

Mediengestaltung:

Sarah Rühl

Referat III.1 Neue Wirtschaftstrends
und neue wirtschaftspolitische Instrumente

Die Broschüre ist auf der Homepage des Ministeriums für Wirtschaft, Innovation, Digitalisierung und Energie des Landes Nordrhein-Westfalen unter www.wirtschaft.nrw/broschuerenservice als PDF-Dokument abrufbar.

Hinweis

Diese Druckschrift wird im Rahmen der Öffentlichkeitsarbeit der Landesregierung Nordrhein-Westfalen herausgegeben. Sie darf weder von Parteien noch von Wahlbewerberinnen und -bewerbern oder Wahlhelferinnen und -helfern während eines Wahlkampfes zum Zwecke der Wahlwerbung verwendet werden.

Dies gilt auch für Landtags-, Bundestags- und Kommunalwahlen sowie für die Wahl der Mitglieder des Europäischen Parlaments.

Missbräuchlich ist insbesondere die Verteilung auf Wahlveranstaltungen an Informationsständen der Parteien sowie das Einlegen, Aufdrucken oder Aufkleben parteipolitischer Informationen oder Werbemittel. Untersagt ist gleichfalls die Weitergabe an Dritte zum Zwecke der Wahlwerbung.

Eine Verwendung dieser Druckschrift durch Parteien oder sie unterstützende Organisationen ausschließlich zur Unterrichtung ihrer eigenen Mitglieder bleibt hiervon unberührt. Unabhängig davon, wann, auf welchem Weg und in welcher Anzahl diese Schrift der Empfängerin oder dem Empfänger zugegangen ist, darf sie auch ohne zeitlichen Bezug zu einer bevorstehenden Wahl nicht in einer Weise verwendet werden, die als Parteinahme der Landesregierung zugunsten einzelner politischer Gruppen verstanden werden könnte.

**Ministerium für Wirtschaft, Innovation,
Digitalisierung und Energie
des Landes Nordrhein-Westfalen**
Berger Allee 25, 40213 Düsseldorf
www.wirtschaft.nrw

