



Kapitel 1

Die Bedeutung der wirtschaftlichen Verfügbarkeit von Rohstoffen

Unsere moderne Zivilisation mit ihren zahlreichen technischen Errungenschaften ist untrennbar mit der Verfügbarkeit mineralischer Rohstoffe verbunden: Der Übergang in die moderne Zivilisation beginnt mit dem Übergang von der Stein- in die Bronzezeit. Metalle haben uns Menschen den Weg in die Moderne geebnet. Waren es zu Beginn erst wenige Metalle wie z.B. Kupfer, Zinn, Eisen oder Blei, so sind es heute im Zeitalter der Informationstechnologie bis zu 60 chemische Elemente, die in Halbleitern genutzt werden (Johnson et al., 2007), während bereits ein normales Handy bereits ohne Zählung der Seltenen Erden mindestens 43 chemische Elemente enthält (Hagelüken und Meskers, 2008). Diese große Vielfalt an chemischen Elementen ist für das Funktionieren unserer hochdifferenzierten und hochtechnologischen Wirtschaft heute unbedingt erforderlich: Welches Handy, welcher Computer, welches Auto könnte heute noch vom Band laufen, wenn nicht diese faszinierende Vielfalt an mineralischen Rohstoffen zur Verfügung stünde? (Reller und Holdinghausen, 2013; Hagelüken und Meskers, 2008)

Doch in gleicher Weise wie diese innovativen Materialien den Fortschritt beflügeln und uns Menschen eine umfassende Vielfalt an technischen Möglichkeiten eröffnet haben, machen sie uns doch im selben Moment fundamental abhängig von ihrer Verfügbarkeit. So werden heute beispielsweise etwa 90% aller Seltenen Erden in China in wenigen Minen produziert (USGS, 2014). Schon ein Streik, eine Naturkatastrophe oder ein politischer Konflikt und daraus entstehende Ausfuhrbeschränkungen können zahlreiche von diesen Rohstoffen abhängige Wertschöpfungsketten gefährden.

So sehr also die moderne Vielfalt von Hochleistungsmaterialien uns neue Möglichkeiten erschließt, so groß sind gleichzeitig auch die dadurch entstehenden Risiken: Unsere moderne Industrie basiert auf weltweit verteilten, hochgradig in sich vernetzten Wertschöpfungsketten, an deren Anfang in vielen Fällen mineralische Rohstoffe stehen. Während einige dieser Rohstoffe (z.B. Eisen, Aluminium oder Titan) in gewaltigen Mengen nahezu überall auf der Welt in der Erdkruste in hohen Konzentrationen enthalten sind, sind zahlreiche andere Rohstoffe (z.B. Kupfer, Zinn oder Platin) nur an wenigen Orten und auch nur in vergleichsweise geringen Mengen (z.B. schwere Seltene Erden) wirtschaftlich verfügbar (USGS, 2014). Dazu kommt, dass sich das Tempo des Ressourcenverbrauchs

immer weiter beschleunigt – ein durchschnittlicher Bundesbürger verursacht heute im Jahr etwa 23 kg Elektroschrott (StEP Initiative, 2014), von dem nur ein Bruchteil recycelt bzw. überhaupt als Wertstoff gesammelt wird. Hinzu kommen die z.B. in Autos oder Immobilien enthaltenen Metalle, die ein noch größeres Ausmaß haben. Während mineralische Rohstoffe und vor allem Metalle beim Gebrauch in aller Regel nicht zerstört werden, so werden sie doch durch ihre Nutzung bzw. nach ihrer Nutzung immer weiter verteilt. Diese Dissipation – die vom Konzept her einer Entropiezunahme entspricht – macht es durch immer geringere Konzentrationen pro Volumeneinheit immer schwieriger, das Metall noch wirtschaftlich zurückzugewinnen. Es ist damit also praktisch verloren. Und während andere Rohstoffe wie z.B. Öl in ihrer Rolle als Energieträger durch eine Vielzahl anderer Technologien ersetzt werden können – wenn auch unter Umständen mit höheren Kosten – so gibt es bei zahlreichen Metallen aufgrund ihrer einzigartigen physikalischen Eigenschaften oft keinen adäquaten Ersatz. Beispielsweise enthält heute praktisch jedes Farbdisplay sehr dünne Schichten des Metalls Indium (als Indiumzinnoxid), von dem im Jahr weltweit nur etwa 700 Tonnen produziert werden (USGS, 2014). Vom Volumen her würde diese Menge in einen Seminarraum passen, vom Gewicht her wären es etwa 35 LKW. Diese global betrachtet sehr geringen Mengen sind dabei Grundlage für gewaltige Umsätze: Alleine in Deutschland wurden 2013 etwa 15 Milliarden Euro mit Fernsehern, Smartphones und Notebooks umgesetzt (Bundesverband Technik des Einzelhandels (BVT) et al., 2014), die höchstwahrscheinlich größtenteils Indium enthalten. Indium selbst hingegen hat ein Marktvolumen von lediglich etwa einer halben Milliarde Euro – es ist also überraschend, wie „billig“ Indium als Hauptbestandteil einer Kerntechnologie von Displays ist. Es ist zwar nicht zu erwarten, dass irgendwann das letzte Gramm Indium gefördert wird, da Indium – wie praktisch alle anderen chemischen Elemente – in Spuren überall in der Erdkruste enthalten ist. Dennoch stellt sich aber die Frage, ob der heute oft sorglose Umgang zu einem Verlust bzw. einer Dissipation dieser wertvollen Metalle führt, so dass sie irgendwann einmal so teuer werden, dass sie nicht mehr bezahlbar und damit praktisch für weite Teile der Menschheit „verloren“ sind. Viele Stimmen, auch in der Wissenschaft, kritisieren schon seit langem diesen „Ressourcenhunger“ unserer modernen Gesellschaften und postulieren eine bereits jetzt zunehmende Verknappung vieler essentieller Rohstoffe. Obwohl der Preis eines Rohstoffes nur ein unvollkommenes Maß für seine Knappheit ist, müsste sich eine solche Verknappung zumindest teilweise in steigenden Preisen niederschlagen.

Angesichts dieser Risiken drängt sich also die Frage auf, ob unsere moderne, hochtechnisierte und global vernetzte Industrie nicht an einer entscheidenden Stelle auf Sand gebaut hat. Werden uns die (mineralischen) Rohstoffe ausgehen in dem Sinne, dass sie nicht mehr bezahlbar sind? Wie knapp sind mineralische Rohstoffe aus ökonomischer Perspektive und welche Faktoren beeinflussen ihre ökonomische Knappheit?

Um diese Fragen zu beantworten, wird in dieser Arbeit der Rohstoffpreis als wichtiger Indikator von Rohstoffknappheit genutzt, wobei sowohl der zeitliche Trend der Preise als auch wichtige fundamentale Einflussfaktoren umfangreich empirisch analysiert werden. Nach einem Literaturüberblick zu Rohstoffknappheit und der Entwicklung von Rohstoffpreisen in Kapitel 2 präsentiert Kapitel 3 die verwendeten Daten und einen Überblick

über die untersuchten Rohstoffe. In Kapitel 4 wird der zeitliche Trend der Rohstoffpreise mit einer Reihe von sich ergänzenden statistischen Methoden detailliert empirisch analysiert. Eine empirische Analyse zahlreicher wichtiger Fundamentalfaktoren für die Preisentwicklung schließt sich in Kapitel 5 an. Abschnitt 6.1 zeigt einige exemplarische Anwendungsmöglichkeiten der Daten und Erkenntnisse zu Rohstoffpreisen und Rohstoffmärkten, z.B. mit ontologiebasierten Datenbanken oder mit dynamischen Simulationswerkzeugen. Die Arbeit schließt mit einer Zusammenfassung und einem Ausblick in Kapitel 7, wo auch die Limitationen der Wahl des Preises als Knappheitsindikator diskutiert werden.





Kapitel 2

Literaturüberblick zu Rohstoffknappheit und Rohstoffpreisen

Angesichts der Endlichkeit der Erdoberfläche bzw. der Erdkruste und der darin enthaltenen mineralischen Rohstoffe ist es grundsätzlich klar, dass Rohstoffe nicht in beliebiger Menge verfügbar sind. Es ist daher eine der klassischen Fragen der Ressourcenökonomie, ob (mineralische) Rohstoffe knapp in dem Sinne sind, dass die Nachfrage (langfristig) das Angebot übersteigt bzw. ein zunehmend höherer oder absolut (zu) hoher Preis gezahlt werden muss. Diese Frage wird in verschiedenen Varianten seit Jahrhunderten in der Wissenschaft diskutiert, allerdings ohne dass sich bisher ein allgemeiner Konsens herauskristallisiert hätte. Daher sollen hier einige exemplarische Vertreter für die beiden entgegengesetzten Positionen behandelt werden: Während zahlreiche Forscher in der Endlichkeit der Rohstoffe die absoluten Grenzen des Wachstums von Weltbevölkerung und Weltwirtschaft sehen, betonen andere die wichtige Rolle von Rohstoffknappheit als Innovationstreiber, durch den die Menschheit erst ihren heutigen Wohlstand erreichen konnte.

Um die jeweiligen Argumente nachvollziehbar zu machen, werden die verschiedenen Sichtweisen der jeweiligen Autoren möglichst unverfälscht dargestellt, ohne dass der Autor dieser Arbeit sich diese Thesen dadurch zu eigen macht. Vielmehr soll durch die Präsentation auch von Extrempositionen die besondere Relevanz der hier gestellten Fragen klar gemacht werden, da selbst anerkannte Wissenschaftler seit Jahrzehnten, ja teils sogar seit Jahrhunderten, so gegensätzliche Positionen vertreten.

2.1 Die These: Rohstoffknappheit als (absolute) Wachstumsgrenze

Der Untergang der Menschheit oder zumindest das (abrupte) Ende des Bevölkerungswachstums und eine starke Verringerung des Wohlstandes durch die Rohstoffknappheit wurden seit dem Ende des 18. Jahrhunderts bereits häufig vorausgesagt. Dass beides bisher nicht eingetreten ist, mag als empirisches Indiz gegen diese Positionen dienen, schließt jedoch nicht aus, dass diese Prognosen im Kern zutreffen, jedoch lediglich mit Verspätung eintreffen.

2.1.1 Thomas Malthus: Begrenztes Ackerland als Wachstumsgrenze

Der erste Klassiker der Wachstumsgrenzen ist **Thomas Malthus** mit seinem **Essay on the Principle of Population** (Malthus, 1798). In diesem bereits 1798 erschienenen Werk entwickelt er eine sehr intuitive Argumentationskette: Bei einer begrenzten Menge an fruchtbarem Ackerland führt das beständige Bevölkerungswachstum irgendwann zu einem Punkt, an dem die Nahrungsmittelproduktion gerade noch das Existenzminimum erreicht, so dass das Bevölkerungswachstum durch Hunger bzw. Mangelernährung gestoppt wird. Selbst wenn immer mehr Menschen das Land bewirtschaften, um die Erträge zu erhöhen, gibt es irgendwann einen Punkt, an dem ein zusätzlicher Arbeiter weniger zusätzlichen Ertrag erwirtschaftet als er selbst zum Überleben braucht. Grundlage dafür ist für Malthus eine einfache Argumentationskette:

„First, That food is necessary to the existence of man.

Secondly, That the passion between the sexes is necessary and will remain nearly in its present state. [...]

Assuming then, my postulata as granted, I say, that the power of population is indefinitely greater than the power in the earth to produce subsistence for man.“ (Malthus, 1798)

Malthus geht sogar noch weiter und postuliert zwei mathematische Wachstumsgesetze: Während die Bevölkerung prozentual wächst, wächst der Ertrag des Ackerlandes seiner Theorie nach lediglich linear. Auf Basis dieser Annahmen ist es also eine mathematische Gewissheit, dass die Menschheit irgendwann ihre Wachstumsgrenzen in Form der Lebensmittelversorgung erreichen wird, was dann zu Hungersnöten und einem dauerhaft minimalen Lebensstandard führt. Dabei muss allerdings betont werden, dass die Überlegungen von Malthus, die er selbst mit großer Überzeugung vertrat, aus heutiger Sicht ein stark vereinfachtes Modell darstellen. Insbesondere sind diverse restriktive Annahmen bezüglich des Zeithorizonts, der Wachstumsrate der Bevölkerung, der Verfügbarkeit von Ressourcen und Technologie, sowie zu Institutionen und Produktionsprozessen notwendig, um Malthus' Szenario eines Lebens am Existenzminimum eintreten zu lassen (Barnett und Morse, 1963, S. 54ff.). Als Ausweg schlägt er in den späteren Auflagen seines Werks eine Form von vorausschauender Selbstbeschränkung (Malthus, 1826), modern gesprochen Familienplanung, vor, die das Bevölkerungswachstum beendet, vor es zu Hungersnöten oder minimalen Lebensstandards kommt.

Diese Vorstellung ist aus der Sicht unserer heutigen Zeit, in der in vielen westlichen Staaten die Geburtenzahl – weitgehend aufgrund freier Entscheidungen – deutlich unter dem Selbsterhaltungsniveau von etwas über 2 Kindern pro Frau liegt, durchaus nachvollziehbar. In Zeiten vor den 1960er Jahren, als steigende Bevölkerung noch praktisch als Naturgesetz galt (so verteidigte Konrad Adenauer 1957 noch die umlagebasierte Rente mit dem berühmten Satz „Kinder kriegen die Leute immer“ (Kulke, 2012)), waren Malthus' Prognosen jedoch eine Art Garantie für großes zukünftiges Elend. Dies wird umso verständlicher, als viele Entwicklungs- und Schwellenländer ein starkes Bevölkerungswachstum aufweisen, obwohl absehbar ist, dass vor allem die erneuerbaren die

Ressourcen der Erde schon jetzt überstrapaziert sind (Sachs et al., 2005, S. 36). Insgesamt wird die Wissenschaft in der Tradition von Malthus daher nicht selten als düstere und trostlose Wissenschaft („dismal science“, Tilton, 2003, S. 8, Maurice und Smithson, 1984, S. 21ff.) bezeichnet. Einige Forscher geben Malthus und seinen Nachfolgern sogar den Titel von „Weltuntergangspropheten“ („prophets of doom“, Maurice und Smithson, 1984, S. 24).

2.1.2 Lagerstättenqualität und Exploration neuer Lagerstätten bei Ricardo und Mill

Dennoch gab es in der wissenschaftlichen Auseinandersetzung mit diesem Themenkomplex auch nach Malthus zahlreiche Verfechter der Rohstoffknappheit. Eine wichtige Weiterentwicklung der Thesen Malthus' findet sich bei **David Ricardo** in seinen **Principles of Political Economy and Taxation** von 1817 (Ricardo, 1817). Während Malthus seinen Rohstoffbegriff im Wesentlichen auf Ackerland bezieht, behandelt David Ricardo ausdrücklich auch mineralische Rohstofflagerstätten (Tilton, 2003, S. 8), wobei sich diese in seiner Analyse nicht strukturell von Ackerland unterscheiden und er keine starren Obergrenzen für deren Ertrag annimmt (Barnett und Morse, 1963, S. 63f.). Die wichtigste Ergänzung in seinem Modell besteht in der variierenden Qualität von „Rohstofflagerstätten“, seien es Ackerland oder Minen. Eine zentrale Schlussfolgerung aus der variierenden Lagerstättenqualität ist ein Preispfad, der mit der abgebauten Menge ansteigt, da die besten und dadurch günstigsten Lagerstätten grundsätzlich zuerst abgebaut werden. Unter der Annahme, dass sich jedoch ein Gleichgewichtspreis ergibt, der bei bzw. über den Produktionskosten der letzten gerade noch rentablen Lagerstätte liegt, erhalten die Betreiber aller günstigeren Lagerstätten eine zusätzliche Prämie, die auch heute noch als **Ricardo-Rente** („**ricardian rent**“) bezeichnet wird (Tilton, 2003, S. 27). Im Gegensatz zu Malthus verzichtet Ricardo auch ausdrücklich auf das Postulat einer absoluten Grenze (Barnett und Morse, 1963, S. 63), so dass steigende Produktion zwar mit steigenden Preisen einhergeht, abgesehen davon aber nicht prinzipiell begrenzt sein muss. Es gibt also immer zusätzliches Ackerland bzw. weitere Förderstätten, wenn auch mit immer schlechterer Qualität. Knappheit ist bei Ricardo also keine physikalische Gewissheit, sondern ein ökonomisches Phänomen das durch Angebot, Nachfrage und den (Gleichgewichts-)Preis bestimmt wird (Barnett und Morse, 1963, S. 61). Zudem bezieht er auch die Möglichkeit der Entdeckung neuer Minen und die Verbesserung der Fördertechniken in sein Modell ein, so dass es deutlich weniger absolut als das Modell von Malthus ist und so auch mehr Plausibilität für sich in Anspruch nehmen kann (Barnett und Morse, 1963, S. 59). Im Kern argumentiert aber auch Ricardo für einen monoton steigenden Preispfad und eine dadurch monoton zunehmende ökonomische Knappheit von Ressourcen (Barnett und Morse, 1963, S. 63).

Eine weitere Differenzierung der Theorien von Malthus und Ricardo nimmt **John Stuart Mill** in seinen erstmals 1848 erschienenen **Principles of Political Economy** (Mill, 1909) vor. Seine zentrale Verknüpfung der Argumente von Malthus und Ricardo liegt darin, dass eine absolute Grenze zwar grundsätzlich besteht, diese aber bei Weitem noch nicht erreicht wurde, sondern lange davor die Ricardo'sche Knappheit in

Form immer schlechterer Lagerstätten zum Tragen kommt (Tilton, 2003, S. 8, Barnett und Morse, 1963, S. 64ff.). Er räumt zwar die Gültigkeit des Prinzips der wachsenden Bevölkerung ein, betont aber, dass diese ihre Wachstumsmöglichkeiten nur selten tatsächlich ausschöpft. Auch eine sinkende Lagerstättenqualität sieht er gegeben, betont jedoch die Möglichkeit der Neuentdeckung von Minen, die durchaus auch eine bessere Qualität als die bisher ausgebeuteten Minen haben können. Insbesondere bezieht er die Möglichkeit des technischen Fortschrittes ein, der gerade im Bergbau besonders große Auswirkungen aufweist (Barnett und Morse, 1963, S. 65ff.). Zudem behandelt Mill im Gegensatz zu Malthus und Ricardo die Thematik nicht-erneuerbarer Ressourcen in Form der Erschöpfung von mineralischen Lagerstätten, die es praktisch unmöglich macht, eine nicht-erneuerbare Ressource dauerhaft zu einem konstanten Preis zu fördern (Barnett und Morse, 1963, S. 67). Insgesamt ist es für Mill einer der zentralen Lehrsätze der Ökonomie, dass der (Arbeits-)Aufwand pro geförderter Rohstoffeinheit grundsätzlich ansteigt (Barnett und Morse, 1963, S. 66). Für Mill gibt es also grundsätzlich eine inkrementell zunehmende Knappheit im Sinne von Ricardo, die jedoch durch technischen Fortschritt oder die Entdeckung neuer Lagerstätten zumindest pausiert oder verlangsamt werden kann (Barnett und Morse, 1963, S. 69).

Bereits aus der kurzen Gegenüberstellung dieser drei Klassiker der Ressourcenökonomie lassen sich zwei Leitmotive extrahieren: Zum einen die These von **absoluten Grenzen des Wachstums**, die in der Endlichkeit materieller Ressourcen begründet sind, und zum anderen die **Annahme des steigenden (Arbeits-)Aufwands pro zusätzlich geförderter Rohstoffeinheit**, die häufig auch als **Gesetz der Knappheit** („scarcity law“, Barnett und Morse, 1963, S. 67) bezeichnet wird.

2.1.3 Politische Reaktionen: Conservation Movement und staatliche Markteingriffe

Diese klassischen Autoren des 18. und 19. Jahrhunderts sind ein wichtiger intellektueller Nährboden für die **amerikanische Umweltschutzbewegung (Conservation Movement)**, die besonders um die Jahrhundertwende zwischen 19. und 20. Jahrhundert in den USA großen Einfluss gewinnen konnte und den obigen Thesen somit zu einer großen Bedeutung für Politik und Wirtschaft verhalf. Das zeigt sich nicht zuletzt darin, dass einer der wichtigsten Anhänger dieser Bewegung, Theodore Roosevelt, zu Beginn des 20. Jahrhunderts als amerikanischer Präsident amtierte und dort zahlreiche umweltpolitische Maßnahmen umsetzte. Zwei der bekanntesten Beispiele dafür sind sein Einsatz für den Erhalt der in diesem Zeitraum kurz vor der Ausrottung stehenden Bisons sowie die Gründung einiger der ersten Nationalparks der Vereinigten Staaten von Amerika (National Park Service, 2014). Die amerikanische Umweltschutzbewegung war also keine (rein) wissenschaftliche Angelegenheit, sondern einer der ersten breit angelegten Versuche, Umweltschutz und Ressourcenschonung in breitem Umfang gesellschaftlich und politisch umzusetzen. Sie entstand vor dem Hintergrund von Industrialisierung und großflächiger Abholzung der Wälder in Nordamerika. Ihre Vertreter waren der Ansicht, dass Umwelt und Ressourcenschonung nicht nur rein ökonomisch, sondern auch ganzheitlich betrachtet werden müssten. Sie setzten sich für einen vorausschauenden

Ressourcenverbrauch, den Einsatz erneuerbarer statt nicht erneuerbarer Ressourcen sowie für Recycling und Wiederverwertung von Rohstoffen ein (Tilton, 2003, S. 9). Ein typisches Beispiel für die Maßnahmen der Vertreter dieser Bewegung sind die Bemühungen der US-Forstverwaltung um das Jahr 1900, die zunehmende Abholzung durch den hohen Holzverbrauch der Eisenbahnen durch großflächige Aufforstungsprojekte zu stoppen (Maurice und Smithson, 1984, S. 55ff.). Grund dafür sind drastische Prognosen zum Holzverbrauch: „We have timber for less than thirty years at the present rate of cutting.“ (Tilton, 2003, S. 9). Insgesamt war die amerikanische Umweltschutzbewegung also eine der ersten einflussreichen politischen Initiativen, die sich mit der Lösung der von Malthus, Ricardo und Mill konstatierten Ressourcenprobleme auseinandersetzte.

Vor diesem Hintergrund ist es nicht verwunderlich, dass sich die Politik in den USA (und zahlreichen anderen Staaten) weiter intensiv mit dem Thema „Rohstoffe“ auseinandersetzte. Ein bekanntes Beispiel dafür ist die President’s Material Policy Commission, auch bekannt als Paley-Kommission, die 1952 ihren Bericht vorlegte. Dieser Bericht stellt fest, dass der Verbrauch praktisch aller Rohstoffe schneller wächst als die Entwicklung von Lagerstätten möglich ist und dass das Problem der Rohstoffknappheit deswegen ein langfristiges und grundlegendes Problem darstellt (Tilton, 2003, S. 10). Rohstoffe werden in diesem Bericht als die Grundlage, auf der alle Beschäftigung, alle alltäglichen Aktivitäten basieren, bezeichnet (Radetzki, 2008, S. 11). In diese Zeit fällt auch der zunehmende Aufbau strategischer staatlicher Lagerbestände vieler Rohstoffe. Selbst Präsident Kennedy betonte noch die große Rolle der Rohstoffe für den Wohlstand:

„From the beginning of civilization, every nation’s basic wealth and progress has stemmed in large measure from its natural resources. This nation has been, and is now, especially fortunate in the blessings we have inherited. Our entire society rests upon – and is dependent upon – our water, our land, our forests and our minerals. How we use these resources influences our health, security, economy and well-being.“ (zitiert nach Barnett und Morse, 1963, S. 21)

Mehr als 100 Jahre nach dem Erscheinen von Malthus’ Thesen kamen diese also wieder zu großer Popularität. Angesichts dieser Positionen ist es nicht verwunderlich, dass der Zeitraum zwischen 1930 und 1980 durch tiefgreifende staatliche Eingriffe in die Rohstoffmärkte geprägt war (Radetzki, 2008, S. 21) und heute undenkbbare Maßnahmen wie staatliche Preisobergrenzen oder Importbeschränkungen durchgeführt wurden.

2.1.4 Die „Grenzen des Wachstums“ von 1972

Die allgemeine Krisenstimmung während der Ölkrise war 1972 dabei sicherlich sehr förderlich für die Rezeption des Berichts des Club of Rome, „Die Grenzen des Wachstums“ (Meadows et al., 1972). Diese Veröffentlichung ist ohne Zweifel selbst heute noch äußerst einflussreich und immer noch eine der am häufigsten zitierten Studien zur Ressourcenknappheit (ca. 12000 Zitate nach Google Scholar, davon ca. 3000 seit 2010), was von Kritikern jedoch in weiten Teilen auf das „günstige Timing“ (Tilton, 2003, S. 11, eigene Übersetzung) zurückgeführt wird. Mit Hilfe empirischer Trends und dynamischer

Simulationen auf Grundlage der Methode „System Dynamics“ erstellen Meadows et al. durchaus drastische Prognosen: Die mineralischen Rohstoffe würden bei Eintreten der berechneten Szenarien in der Mitte des 21. Jahrhunderts zur Neige gehen, was in Verbindung mit zunehmender Umweltverschmutzung und geringerer Lebensmittelproduktion gegen Ende des 21. Jahrhunderts zu einer – je nach Szenario – Halbierung der Weltbevölkerung innerhalb von 50 Jahren führen würde (Meadows et al., 1972, S. 113ff.). Der von den Autoren vorgeschlagene Ausweg liegt in dem schnellstmöglichen Stopp des Bevölkerungswachstums, so dass die Weltbevölkerung – wenn auch mit einem deutlich geringeren Lebensstandard – weiterhin die lebensnotwendigen Ressourcen zur Verfügung hätte (Meadows et al., 1972, S. 144ff.). Das zugrunde liegende Modell ist durchaus komplex und setzt sich aus der dynamischen Interaktion von 99 Variablen, Konstanten und Bestandsgrößen zusammen (Meadows et al., 1972, S. 89ff.). Vereinfacht ergeben sich die „Weltuntergangsszenarien“ aus der Kombination von beschleunigter Industrialisierung, starkem Bevölkerungswachstum (die zusammen ein (über-)exponentielles Wachstum ergeben), der Erschöpfung nicht-erneuerbarer Ressourcen, der zunehmenden Umweltverschmutzung und der daraus folgenden verbreiteten Unterernährung (Maurice und Smithson, 1984, S. 12). Angesichts dieser Aussichten entstand der Eindruck, dass nur noch sofortige und drastische Maßnahmen die Menschheit noch retten könnten – ein Eindruck, der angesichts der damals akuten Ölkrise durchaus breite Zustimmung fand (Maurice und Smithson, 1984, S. 8). Es ist hierbei bemerkenswert, dass die Kernthese von Meadows et al., dass das Wachstum der Menschheit sowie der Weltwirtschaft durch endliche Ressourcen begrenzt ist, das Leitmotiv von Malthus mit überraschend geringen Abweichungen wieder neu aufgreift.

2.1.5 2013: Konsumieren wir uns zu Tode?

Es gab nach Meadows et al. noch zahlreiche weitere Veröffentlichungen zu den Auswirkungen der Ressourcenknappheit, z.B. Campbell und Duncan (1997) „The Coming Oil Crisis“. Stellvertretend soll zum Abschluss dieses groben historischen Überblicks den zentralen Vertretern der Ressourcenknappheit der deutsche Titel **Wir konsumieren uns zu Tode** von Reller und Holdinghausen (2013) behandelt werden. Kernthemen sind hier die Entstehungsgeschichten von Rohstoffen sowie die vielfältigen Auswirkungen unseres exzessiven Rohstoffverbrauchs und unseres westlichen Wohlstandsmodells: Wir wissen zu wenig über „die Zusammenhänge zwischen all den Geldtransaktionen und den Stoff- und Güterströmen“ (2013, S. 7). Unser Lebensstil verbraucht pro Jahr so viel, wie unser Planet nur in 1,4 Jahren zur Verfügung stellen kann. „Wie kann das immer weiter funktionieren, auf wessen Kosten und um welchen Preis?“ (Reller und Holdinghausen, 2013, S. 7). Nach den Autoren ist hier vor allem der Blick auf die ganze Geschichte eines Rohstoffs von entscheidender Bedeutung: Der „Blick auf die Entstehungsgeschichte eines Gutes eröffnet neue Perspektiven: Seine Produktion kann unter sehr unterschiedlichen Arbeitsbedingungen erfolgen, [...] mit geringem oder exorbitant hohem Energieverbrauch, durch die angemessene Nutzung von Rohstoffen oder durch unverantwortlichen Raubbau. [...] Wir tun gut daran, diese Geschichten zu kennen. Denn nur dann können wir bewusst und verantwortlich mit all den Konsumgütern umgehen,

die uns umgeben – und unseren Lebensstil prägen“. (Reller und Holdinghausen, 2013, S. 12).

Reller und Holdinghausen präsentieren diese Stoffgeschichten anhand zahlreicher Beispiele (z.B. Erdöl oder landwirtschaftliche Rohstoffe), wobei in der hier vorliegenden Arbeit vor allem die mineralischen Rohstoffe behandelt werden sollen. Ein bisher noch häufig unterschätzter Rohstoff ist **Phosphor**, das als Dünger in der Landwirtschaft inzwischen eine zentrale Rolle spielt, da Pflanzen unbedingt auf Phosphor angewiesen sind (Reller und Holdinghausen, 2013, S. 56). Die „Grüne Revolution“, die Steigerung der landwirtschaftlichen Erträge um ein Vielfaches in den vergangenen 50 Jahren, ist zu Teilen auch erst durch mineralische Dünger wie Phosphor möglich geworden. Phosphor, das eigentlich in einen natürlichen Stoffkreislauf eingebunden ist, wird heute zunehmend aus mineralischen Lagerstätten abgebaut, die jedoch zur Neige gehen (Reller und Holdinghausen, 2013, S. 55). Dabei wird durch die „Überschwemmung“ der Böden mit Phosphor gleichzeitig das natürliche Phosphor-Gleichgewicht stark gestört (Reller und Holdinghausen, 2013, S. 57ff.). Diese Zusammenhänge sind nach Reller und Holdinghausen die „Lebenslüge“ der modernen Landwirtschaft: Durch höheren Ressourcenverbrauch bei Boden, Erdöl und Wasser werden immer größere Erträge erwirtschaftet. Diese sind aber durch den Verbrauch knapper Rohstoffe teuer erkaufte werden und so umfangreiche verdeckte Kosten erzeugen, die an anderer Stelle teuer bezahlt werden müssen (Reller und Holdinghausen, 2013, S. 54f.).

Dabei beschränken sich die Probleme der Ressourcenverschwendung keineswegs auf die Landwirtschaft: Auch die **Elektronik-Industrie** und ebenso die Elektronik-Konsumenten sind nach Reller und Holdinghausen für eine dramatische Ressourcen-Dissipation verantwortlich: Inzwischen wird „für jeden Erdenbürger ein Handy hergestellt“, dabei „enthält [jedes Handy] über 20 Elemente des Periodensystems“, in meist geringsten Mengen (Reller und Holdinghausen, 2013, S. 152). Elektroschrott ist dabei geradezu eine „Goldader“: Er enthält neben Kupfer auch Gold, Silber, Platin und Seltene Erden (Reller und Holdinghausen, 2013, S. 169). Leider gehen ca. 60% der Handys „in einer Müllverbrennungsanlage in Flammen auf, und ihre wertvollen Bestandteile sind für immer verloren“ (Reller und Holdinghausen, 2013, S. 153). Ein großes Problem der modernen Technik ist dabei die Mischung vieler Elemente in kleinsten Mengen. Beispielsweise ist in praktisch allen Flachdisplays Indiumzinnoxid enthalten, „ein Glas, das elektrischen Strom leiten und Magnetfelder erzeugen kann“ (Reller und Holdinghausen, 2013, S. 172). Dabei genügen wenige Milligramm bzw. bei sehr großen Fernsehern wenige Gramm Indium. In diesem Sinne ist Indium ein typisches „Gewürzmetall“: Es genügen minimale Mengen, um eine gewünschte Funktion zu erreichen, aber diese geringen Mengen sind unverzichtbar (Reller und Holdinghausen, 2013, S. 172f.). Gleichzeitig machen diese im Endprodukt sehr geringen Mengen das Recycling ungleich schwerer, was mitunter dazu führt, dass eine Rückgewinnung von Indium daraus kaum stattfindet (Reller und Holdinghausen, 2013, S. 175). Das Problem ist dabei gleichzeitig technischer wie ökonomischer Natur: Da die „Materialkosten eines Smartphones [...] je nach Marke kaum ein Drittel des Kaufpreises“ (Reller und Holdinghausen, 2013, S. 176) betragen, fehlt für die Elektronik-Konzerne der Anreiz, bereits bei der Konstruktion auf Recycling

oder längere Nutzungszeiten zu achten. Aber „um ein Mobiltelefon im Schnitt weniger als zwei Jahre zu benutzen, stecken viel zu viel Energie und menschliche Arbeitskraft darin – und zu viele wertvolle, endliche Rohstoffe“ (Reller und Holdinghausen, 2013, S. 170). Selbst einzelne Anstrengungen wie Rücknahmeaktionen für gebrauchte Handys oder Akkus erfassen meist – z.B. aufgrund der fehlenden oder zu geringen Entlohnung für die Kunden – nur einen kleinen Bruchteil der theoretisch bereitstehenden Altgeräte.

Dies ist umso bedenklicher, als die Förderung dieser wertvollen Rohstoffe dramatische **Folgen für Mensch und Umwelt** hat: So wurde die sibirische Stadt Norilsk, in der vor allem Nickel, Kupfer, Palladium und Platin gefördert werden, kürzlich zu einem der zehn dreckigsten Orte der Welt „gekürt“ (Reller und Holdinghausen, 2013, S. 153f.): „Die rund 200 000 Bewohner, besonders die Kinder, leiden unter Atemwegserkrankungen und Lungenkrebs, die Lebenserwartung ist deutlich niedriger als im Rest Russlands“ (Reller und Holdinghausen, 2013, S. 154). Dafür ist Norilsk eine der wichtigsten Förderstätten für Platin, von dem im Jahr ca. 250 Tonnen in umweltfreundlichen Katalysatoren verbaut werden (Reller und Holdinghausen, 2013, S. 155), damit unsere Straßen sauber bleiben. Dieser „Umweltschutz“ ist also äußerst teuer erkaufte: „Für fünf Gramm Platin müssen 10 000 Kilogramm Erz gebrochen, zermahlen und chemisch aufgeschlossen werden“ (Reller und Holdinghausen, 2013, S. 157). Die Förderung ist dabei so aufwendig, dass es selbst mit modernster Technik „rund zehn Jahre dauert [...], bis sich nach Investitionen in Bergbauprojekte das Angebot an Erzen oder Mineralien auf dem Markt erhöht“ (Reller und Holdinghausen, 2013, S. 158). Dennoch wird Platin, z.B. in Katalysatoren, bisher erst zu ca. 50% recycelt (Reller und Holdinghausen, 2013, S. 161). Stattdessen geht der Raubbau an den Lagerstätten, der Umwelt und den Menschen weiter: „Weder die Bevölkerung Russlands, noch die Südafrikas [des wichtigsten Platin-Produzenten] oder gar Simbabwe hat bisher von dem Reichtum ihrer Länder profitiert. [...] Nur in wenigen Ländern haben die Bodenschätze zu einem guten Leben vieler geführt“ (Reller und Holdinghausen, 2013, S. 158f.). Diese Zusammenhänge haben sogar zur Diskussion über einen „Ressourcenfluch“ geführt, da die meisten rohstoffreichen Länder heute erstaunlich arm sind (Reller und Holdinghausen, 2013, S. 159). Es drängt sich sogar der Eindruck eines „kolonialen Modells“ auf, nach dem die reichen Industriestaaten die wertvollen Rohstoffe anderer Länder billig einkaufen und damit auf Kosten der dortigen Umwelt und Bevölkerung ihren eigenen Wohlstand steigern (Reller und Holdinghausen, 2013, S. 159).

Interessanterweise zeigt eine gerade heute viel diskutierte Rohstoffgruppe eine Umkehr dieses kolonialen Modells: Die Metalle der **Seltenen Erden**. Noch vor gut 10 Jahren stammte die Hälfte der Weltjahresproduktion aus den Vereinigten Staaten, während 2013 China 97% aller Seltenen Erden produzierte (Reller und Holdinghausen, 2013, S. 146f.). Die Seltenen Erden sind dabei (obwohl sie weder wirklich selten noch im technischen Sinne „Erden“ sind) Schlüsselmaterialien für innovative Technologien: Seien es Windräder, Elektroautos, Festplatten, Laser oder Katalysatoren: „In allem, was nach Hightech und grüner Zukunftstechnologie klingt, sind garantiert Seltene Erden enthalten“, so Reller und Holdinghausen (2013, S. 147). Warum haben also die USA diese heute strategisch hochrelevanten Rohstoffe an China „abgegeben“? Die Gründe sind sehr ein-

fach: „Der Abbau der [Seltenerd-]Metalle setzt [...] immer auch radioaktives Metall frei“ (Reller und Holdinghausen, 2013, S. 146). Die „schmutzige“ Förderung seltener Erden hat man also gerne China überlassen, was durch niedrige Umweltstandards und geringe Arbeitskosten schlicht und einfach günstiger war (Reller und Holdinghausen, 2013, S. 147). Doch es kommt noch schlimmer: Etwa die Hälfte der aus China angebotenen Seltenen Erden wird illegal gefördert, was noch schlimmere Arbeits- und Umweltschutzbedingungen vermuten lässt: „Hochgiftige, radioaktive Abwässer gelangen in Stauseen, die der Bevölkerung als Trinkwasserspeicher dienen“ (Reller und Holdinghausen, 2013, S. 148). Die Logik der Märkte sorgt aber dafür, dass die Geschichte dieser Rohstoffe ausgeblendet bzw. auf ein Faktum, nämlich den Preis reduziert wird: „Die Industrie der ganzen Welt hat jahrelang von den niedrigen Preisen der Rohstoffe profitiert und sich an der grässlichen Umweltverschmutzung vor Ort dabei nicht weiter gestört“ (Reller und Holdinghausen, 2013, S. 149). Angesichts dessen wirken viele grüne Technologien auf einmal wie Etikettenschwindel: „Der Gedanke ist [...] absurd, dass grüne Zukunftstechnologien wie Wind- und Sonnenkraft auf Metallen beruhen sollen, die mit der Denkungsart von Vorgestern gewonnen wurden. Grüne Energien sind nur dann grün, wenn auch die Technik zu ihrer Erzeugung von Anfang bis zum Ende nachhaltig gestaltet und betrieben wird“ (Reller und Holdinghausen, 2013, S. 150).

Schließlich gibt es noch einen weiteren Faktor, der die weltweiten Rohstoffströme zusätzlich kompliziert: Die zunehmend volatilen **Rohstoffmärkte**. Innerhalb von Jahren, teilweise von Monaten oder Wochen, verdoppeln oder halbieren sich die Rohstoffpreise. „Egal, in welche Richtung, die Kurse an den Börsen laufen: Die großen Rohstoffhäuser und die Investmentfonds verdienen immer“, so Reller und Holdinghausen (2013, S. 179). Bemerkenswert ist dabei, dass die tatsächliche Knappheit dabei nicht die Hauptrolle zu spielen scheint: „In den turbulenten Tagen im August [2011] hatte sich ja nicht die [tatsächliche bzw. fundamentale] Nachfrage nach Nickel geändert [...]. Die Preisbewegungen spiegelten eine Erwartung derjenigen wider, die an den Börsen investieren“ (Reller und Holdinghausen, 2013, S. 179). Entscheidend ist, was die Investoren erwarten – und diese Erwartungen können sich schnell ändern, entsprechende Herdeneffekte eingeschlossen: „Das Getreide wird nicht teurer, sondern viel teurer. Und danach nicht günstiger, sondern spottbillig. Auf diese »Volatilitäten« [...] müssen sich die Verbraucher, Unternehmen und Produzenten einstellen, lautet die lakonische Diagnose der Börsianer“ (Reller und Holdinghausen, 2013, S. 180). Dabei ist es geradezu eine Ironie der Geschichte, dass „der Wunsch nach Sicherheit [...] Bauern und Müller, Minen[betreiber] und Stahlkocher dazu brachte, ihre Geschäfte an den Börsen abzuschließen“ (Reller und Holdinghausen, 2013, S. 180): Beide Seiten erhofften sich dadurch „kalkulierbare Preise [...], die [...] ein ungefähres Abbild von Angebot und Nachfrage“ (Reller und Holdinghausen, 2013, S. 180) darstellen. Die heutigen Preise sagen nach Ansicht der Autoren aber kaum noch etwas über die eigentlichen Rohstoffe aus, vielmehr „ignorieren die Preise für Getreide oder Metalle nicht nur den sozialen, ökonomischen und ökologischen Kontext ihrer Produktion, sondern gleich die Stoffe selbst“ (Reller und Holdinghausen, 2013, S. 180). Dabei geht es hier nicht nur um abstrakte Transaktionen oder Wertpapiergeschäfte, sondern um die Existenz von Menschen in den Erzeugerländern (Reller und Holdinghausen, 2013, S. 180f.).

Angesichts dieser umfassenden Probleme und Schwierigkeiten gibt es natürlich keine einfachen Patentrezepte, aber sicherlich zahlreiche vielversprechende Lösungsansätze. Eine zentrale Rolle hat jedoch ohne Zweifel der Staat bzw. die Staatengemeinschaft in Verbindung mit den Konsumenten, die ja durch ihr Kaufverhalten die geschilderten Probleme mitverursachen:

„Konsumenten und Gesetzgeber [haben] nur gemeinsam die Chance, die Wirtschaft sozialer und gerechter zu gestalten, gerechter auch gegenüber unseren Nachkommen, den Menschen in armen Ländern, aber auch gegenüber Tieren und Natur. [...] Dem Staat obliegt es auch, einen intelligenten Umgang mit Risiken zu organisieren, und nicht nur nachhaltige Techniken zu fördern, sondern auch sozialen Wandel zu begleiten und zu stützen, der zu einem Leben führt, das unsere Ressourcen schont“ (Reller und Holdinghausen, 2013, S. 184).

Darüber hinaus gibt es auch zahlreiche einzelne Ansätze, die eine weitere Verfolgung verdienen, z.B. die Idee des Verleihens von Produkten anstatt des Verkaufs, so dass der Hersteller selbst ein Interesse an langer Haltbarkeit und bestmöglicher Wiederverwertung erhält (Reller und Holdinghausen, 2013, S. 171). Auch gibt es inzwischen Initiativen, z.B. von der US-Regierung, um den Handel mit Mineralien, die aus Bürgerkriegsregionen wie dem Kongo stammen, einzudämmen (Reller und Holdinghausen, 2013, S. 160). Ein weiterer Vorschlag besteht in der Einführung einer „Steuer auf nicht erneuerbare Ressourcen“, die „den Verbrauch senken und Anreize für Effizienz und Recycling“ (Reller und Holdinghausen, 2013, S. 160f.) schaffen soll. Den Ansatz der Wiederverwertung bewirbt auch das Konzept „Cradle-to-Cradle“, das auf Kreislaufkonzepte und eine auf Zerlegbarkeit und mehrfache Verwertung optimierte Produktion setzt (Reller und Holdinghausen, 2013, S. 101). Es fehlt also nicht an Ideen für eine bessere Schonung unserer Rohstoffressourcen, doch fehlt es diesen Ideen oft an Wirtschaftlichkeit, an überzeugten Konsumenten und an überzeugenden Politikern. Dabei sind gerade nicht-erneuerbare Ressourcen ein gemeinsames Erbe der Menschheit, das wir für zukünftige Generationen erhalten sollten (Reller und Holdinghausen, 2013, S. 162).

2.1.6 Zwischenfazit

Es zeigt sich also, dass – obwohl die Thesen Malthus’ seit Jahrhunderten immer wieder im Mittelpunkt wissenschaftlicher Arbeiten stehen – die Knappheit von Rohstoffen ein sehr komplexes Themenfeld ist: Seit Jahrhunderten werden Wachstumsgrenzen diskutiert, aber die Menschheit und die Weltwirtschaft wachsen global gesehen ungebrochen weiter. Dass nicht-erneuerbare Rohstoffe geologisch betrachtet immer weniger verfügbar sein werden, da unter den bekannten Lagerstätten die besten zuerst ausgebeutet werden, erscheint auch nachvollziehbar.

Offenbar haben die Märkte bisher einen Weg gefunden, extreme Knappheiten weitgehend zu vermeiden oder zumindest abzufedern und Alternativen zu entwickeln. Gleichzeitig sind es aber gerade die Märkte, die durch die Ausblendung eines großen Teils der

Entstehungsgeschichte der Rohstoffe für die heute zunehmend erkennbaren Kollateralschäden der Rohstoffförderung und des Rohstoffverbrauchs sorgen. Der Weg, den die Märkte bisher gefunden haben, ist also eindeutig nicht der beste, aber zumindest kurzfristig der wirtschaftlichste. Eigentlich wäre es hier naheliegend, die Kontrolle über die Rohstoffmärkte in die Hände von Gesellschaft und Politik zu verlegen und sie nicht den reinen Marktmechanismen zu überlassen. Eine zugespitzte Position zu den Ergebnissen dieser Strategie wird im nächsten Abschnitt beschrieben.

2.2 Die Gegenthese: Die Märkte verhindern oder vermindern Rohstoffknappheit

Angesichts der Bedeutung von mineralischen Rohstoffen für die Menschheit haben die im vorhergehenden Abschnitt geschilderten, teilweise sehr düsteren Prognosen, durchaus eine erhebliche Tragweite: Das Wohlstandsmodell der westlichen Industrienationen (und zunehmend auch von Schwellenländern wie China, Indien oder Brasilien) ist im Fall einer dauerhaften Rohstoff-Verknappung existenziell gefährdet.

Allerdings ist bisher keines dieser drastischen Szenarien in seiner vollen Tragweite eingetreten, was zumindest einen Anlass für eine kritische Reflektion bietet. Warum sind diese drastischen Szenarien so verbreitet, ja geradezu so populär? Haben sie wirklich Substanz? Eine breit angelegte Untersuchung zu diesem Thema präsentiert Julian Simon in seinem Artikel „Resources, Population, Environment: An Oversupply of False Bad News“ (Simon, 1980). Er argumentiert, dass viele dramatische Prognosen, z.B. zur Ressourcenknappheit oder zum sinkenden Lebensstandard, einer empirischen Überprüfung nicht standhalten (Simon, 1980). Als eines der Beispiele bringt er die behauptete Knappheit von Rohstoffen, der er die – im Vergleich zu den Löhnen – gesunkenen Rohstoffkosten sowie die Effekte von Substitution und neuen Technologien gegenüberstellt und schlussfolgert, dass Rohstoffe nicht knapper, sondern weniger knapp geworden sind (Simon, 1980, S. 1435).

Interessant sind Simons Hypothesen zu den Gründen: Seiner Meinung nach gibt es eine Reihe von Förderprogrammen, die die Generierung schlechter Neuigkeiten z.B. zur Bevölkerungs- oder Rohstoffentwicklung fördern. Zudem verkaufen sich schlechte Nachrichten mindestens doppelt so gut wie gute. Auch psychologische Aspekte können eine Rolle spielen, da Menschen dazu neigen, die Vergangenheit zu idealisieren oder sich zu sehr auf die Extrapolation von Trends zu verlassen. Schließlich nennt er den Idealismus als abschließenden Grund: Menschen glauben, mit drastischen Vorhersagen die Menschen wachzurütteln und sie so zum Einsatz für eine bessere Welt zu motivieren, ohne dass sie – falls ihre Prognosen nicht eintreffen – dadurch einen Schaden verursachen (Simon, 1980, S. 1437). Man könnte solche drastischen Prognosen also als eine Form von „Zweck-Pessimismus“ betrachten. Angesichts der allgemeinen Unsicherheiten von Prognosen ist es in der Regel besser, sich auf ein unerfreuliches Szenario einzustellen, dass dann nicht eintritt, als sich auf ein positives Szenario einzustellen, um dann von einer unerfreulichen Entwicklung überrascht zu werden. Diese stark vereinfachte Gegenüber-