

# Das Klimaschutzabkommen von Paris – Konsequenzen und Perspektiven für die weltweite Industriegesellschaft

Das Klimaschutzabkommen von Paris vom Dezember 2015 ist ein internationaler Meilenstein, der die weltweite Industriegesellschaft in den nächsten Jahrzehnten grundlegend verändern wird.

Warum diskutieren wir jedoch über die Zukunft der Industriegesellschaft? Leben wir nicht längst in einer Wissensgesellschaft, Kommunikationsgesellschaft, Dienstleistungsgesellschaft? Zweifelsohne. Wissen, Kommunikation, Dienstleistungen basieren jedoch auf industriellen Produkten sowie industrieller Produktion und sind längst ubiquitär in den Industrieländern ebenso wie in den Schwellen- und Entwicklungsländern. Diese streben mit wenigen Ausnahmen dieses Wirtschaftsmodell an.

In diesem Beitrag werden daher zunächst die „Globalen Herausforderungen und Rahmenbedingungen“ analysiert, um daraus die möglichen „Konsequenzen und Perspektiven für die weltweite Industriegesellschaft“ in Form von Thesen zu erörtern. Abschließend wird die Vision einer nachhaltigen Industriegesellschaft zusammenfassend dargelegt.

Die viel zitierte Digitalisierung führt zur Industrie 4.0 und ist damit ein Signet, dass auch die zukünftige Gesellschaft eine Industriegesellschaft sein wird. Wo wir auch hinblicken, Haushalt, Beruf, Freizeit, es gibt keinen Lebensbereich, der nicht von industriell gefertigten Produkten durchdrungen ist. Die weltweite Industriegesellschaft steht allerdings vor einem fundamentalen Wandel. Es stellen sich die Fragen: Ist unsere Industriegesellschaft bereits nachhaltig, kann sie es werden, wie kann sie es werden?

## Globale Herausforderungen und Rahmenbedingungen

### Wir leben in einer planetar begrenzten Welt

Das Konzept der planetaren Grenzen ist von Johan Rockström entwickelt worden, der dafür mit dem Deutschen Umweltpreis ausgezeichnet worden ist. Die Erde ist eine Kugel, so dass Inhalt, Fläche, Atmosphäre und Senken zwangsläufig begrenzt sind.

Weltbevölkerung und weltweites Bruttosozialprodukt wachsen unverändert, gleichermaßen wachsen der Gebrauch mineralischer und metallischer Ressourcen, der Verbrauch fossiler Energieträger, der Ausstoß von Treibhausgasemissionen sowie die Erderwärmung. Planetare Grenzen setzen dem Leben auf der Erde jedoch unverhandelbare absolute Grenzen, welche bei Klimawandel, Biodiversität, Landnutzung und

biogeochemischen Kreisläufen bereits überschritten sind und nur in sehr langen Zeiträumen, wenn überhaupt, reversibel sind.

Es stellt sich daher auch die Frage, wieviel materielles Wachstum es in einer materiell begrenzten Welt geben kann. Ziel ist es, den Ressourcenverbrauch vom Bevölkerungs- und Wirtschaftswachstum zu entkoppeln.

### Der Klimawandel setzt die zivilisatorische Grenze

Eine besonders zu beachtende Grenze ist die Aufnahmefähigkeit der Atmosphäre für Treibhausgase. Die neue zivilisatorische Grenze ist also nicht mehr die Verfügbarkeit von Kohle, Öl und Gas, sondern wieviel Kohlendioxid aus deren Verbrennung noch in die Atmosphäre entlassen werden darf.

Es geht also nicht darum, wie lang die Reichweiten der Reserven und Ressourcen Kohle, Öl und Gas noch sind, es geht darum, wieviel davon im Boden bleiben muss. Auf der Klimakonferenz in Paris 2015 wurde erneut das sogenannte 2-Grad-Ziel bekräftigt, also die Begrenzung der globalen Erderwärmung von 1850 bis 2100 auf 2 Grad, wenn möglich sogar auf 1,5 Grad. Beide Ziele sind außerordentlich ambitioniert, ist doch 1 Grad von der besagten Spanne schon „verbraucht“. Das 2-Grad-Ziel bedeutet umgerechnet, dass weit über 90 Prozent aller fossilen Rohstoffe im Boden verbleiben müssen. Die weitere Exploration von unkonventionellem Erdgas durch Fracking oder die Suche nach Ölsanden und Ölschiefer ist vor diesem Hintergrund mehr als fragwürdig.

Das Paris-Abkommen haben 193 Staaten unterzeichnet und nach der Ratifizierung in den nationalen Parlamenten ist es am 4. November 2016 in Kraft getreten. Deutschland und andere Industriestaaten müssen daher bis 2050 ihr Leben und Wirtschaften weitgehend treibhausneutral umgestalten, die weiteren Staaten weltweit bis etwa 2070 dekarbonisieren. Die bislang von den Staaten gemeldeten nationalen Klimaschutzbeiträge reichen allerdings noch nicht aus, das ambitionierte Ziel zu erreichen, werden aber wohl eine entsprechende Eigendynamik entfalten.

Der Begriff Dekarbonisierung hat sich etabliert, auch wenn dieser chemisch nicht ganz korrekt ist, geht es doch darum, Emissionen aus der Verbrennung fossilen Kohlenstoffs zu vermeiden. Kohlenstoff aus regenerativen Quellen, beispielsweise regeneratives Methan aus Power-to-Gas-Anlagen, kann hingegen klimaneutral genutzt werden.



*Technische Universität  
Clausthal*  
Prof. Dr. Martin Faulstich  
martin.faulstich@tu-clausthal.de

Die häufig gestellte Frage, was denn sei, wenn die anderen Länder nicht mitmachen, stellt sich also im Grunde nicht mehr. Im Gegenteil, je später ein Land mit der Dekarbonisierung beginnt, umso schwieriger und teurer wird es.

### Urbanisierung

Zehn Milliarden Menschen werden 2050 auf der Erde leben, davon bis zu 80% in Städten. Die hier aufgeführten Herausforderungen und Handlungsnotwendigkeiten für die Industriegesellschaft betreffen daher in gleichem Maße die Städte.

Energie, Ressourcen, Abfall, Wasser, Abwasser, die Probleme und Lösungen in diesen Bereichen sind mehr oder minder proportional zur Bevölkerung in den Städten.

Dennoch geht es auch darum, gleichwertige Lebensverhältnisse in Stadt und Land zu erreichen. Den ländlichen Räumen kommt insbesondere bei der Umstellung auf erneuerbare Energien und hochwertige Lebensmittel eine Schlüsselrolle zu.

### Die Industriegesellschaft nutzt das gesamte Periodensystem

Der Rohstoffverbrauch ist seit Beginn der Industrialisierung exponentiell gestiegen und steigt weiter. Ebenso ist die Anzahl der genutzten Elemente des Periodensystems stark angestiegen. Zu Beginn der Industrialisierung sind nur wenige Elemente wie Eisen, Kupfer, Nickel, Zinn, Zink und einige Legierungselemente genutzt worden, Mitte des Jahrhunderts kamen die Halbleiter und weitere Legierungselemente hinzu. Mittlerweile nutzt die heutige Industrie alle technisch einsetzbaren Elemente des Periodensystems bis hin zu den Seltenen Erden. Das sind 86 von 118 Elementen des Periodensystems, die weiteren Elemente sind in der Regel nicht technisch nutzbare, kurzlebige Radionuklide.

Wegen der Endlichkeit der Rohstoffvorkommen sind diese möglichst zu recyceln. Bei einigen klassischen Metallen wie Eisen, Kupfer und Aluminium liegen die Recyclingraten weltweit über 50%. Bei etlichen wirtschaftsstrategischen Elementen wie Tantal, Indium, Neodym usw. liegen die Recyclingraten jedoch noch bei unter 1%.

### Reboundeffekt kompensiert Effizienzfortschritte

In vielen Bereichen der Industriegesellschaft sind zweifelsohne durch beeindruckende Ingenieurleistungen große Effizienzfortschritte zu verzeichnen. Viele dieser Fortschritte führen zu einem geringeren Energie- und Rohstoffverbrauch je Produkteinheit. Eine höhere Stückzahl führt in der Summe jedoch wieder zu Mehrverbrauch und dem sogenannten Reboundeffekt.

Weniger Heizwärmebedarf pro Quadratmeter – aber größere Wohnungen, sparsamere Motoren – aber größere Aggregate und schwerere Fahrzeuge, weniger Gold pro Smartphone – aber steigende Stückzahlen. Diese Tatsachen führen in der Summe dazu, dass die Effizienzbemühungen überkompensiert werden und der absolute Ressourcenbedarf weiterhin steigt. Zu diesem direkten Reboundeffekt kommt noch der indirekte Reboundeffekt hinzu. Zahlreiche Produkte werden preiswerter, wodurch die eingesparten Einkommensanteile anderweitig ausgegeben werden, oftmals einhergehend mit steigendem Ressourcenbedarf.

Da die derzeitigen Rohstoffpreise noch nicht die zukünftigen Rohstoffknappheiten widerspiegeln, fehlt oftmals der notwendige Einsparanreiz.

### Noch keine Entkopplung von Wachstum und Ressourcenverbrauch

Wir müssen also schlicht feststellen, dass unsere bisherigen Anstrengungen, den Ressourcenbedarf vom Bevölkerungs- und Wirtschaftswachstum zu entkoppeln, noch nicht ausgereicht haben. Das ist eine ernüchternde Feststellung, denn immerhin haben wir uns seit rund 45 Jahren Umweltschutz im heutigen Sinne auf die Fahnen geschrieben, seit 1972 der erste Bericht an den Club of Rome zu den Grenzen des Wachstums veröffentlicht wurde. Rund 30 Jahre führen wir Debatten um Nachhaltigkeit, beginnend mit dem Brundtland-Bericht 1987 über unsere gemeinsame Zukunft. Auch unsere Klimaschutzbemühungen sind schon 25 Jahre alt, seit die erste Rahmenkonvention 1992 in Rio de Janeiro verabschiedet wurde. Natürlich lässt sich einwenden, dass ohne die Umwelt-, Nachhaltigkeits- und Klimaschutzprogramme die Entkopplungsschere vielleicht noch weiter auseinandergelaufen wäre. Die planetaren Grenzen sind jedoch absolut und nicht verhandelbar. Eine relative Entkopplung reicht daher nicht aus.

### Wachstumsorientierte Industriegesellschaft ist noch das angestrebte Modell

Das wachstumsorientierte Wirtschaftsmodell wird heute von nahezu allen Ländern der Welt angestrebt. Zudem hat sich innerhalb dieses Modells die produzierende Industriegesellschaft als besonders stabil erwiesen.

Beispielsweise hat Deutschland wirtschaftlich wieder das Niveau vor der weltweiten Finanzkrise erreicht, weil es den hohen Anteil an Bruttowertschöpfung durch industrielle Produktion beibehalten hat. Etliche Länder wie Frankreich und Großbritannien, die weniger auf industrielle Produktion gesetzt haben, haben da einen schwereren Stand.

Dennoch ist auch ein erfolgreiches Wirtschaftsmodell immer wieder zu hinterfragen und weiterzuentwickeln. Was soll noch wachsen und was muss unbedingt schrumpfen?

## Konsequenzen und Perspektiven für die weltweite Industriegesellschaft

Die skizzierten globalen Herausforderungen haben sehr konkrete Auswirkungen auf die weltweite Industriegesellschaft, insbesondere auf die Energiewirtschaft und die Rohstoffwirtschaft. Zwischen beiden gibt es zudem Interdependenzen, da der grundlegende Wandel in der Energieerzeugung auch zu Veränderungen in der Rohstoffwirtschaft führt.

### Energieversorgung muss vollständig dekarbonisiert werden

Wie bei den Herausforderungen oben dargelegt, ist der Klimawandel eine zentrale Herausforderung. Deutschland hat bereits in der letzten Legislaturperiode festgelegt, 80 bis 95% der Treibhausgasemissionen bis 2050 zu reduzieren. Das erweckt auf den ersten Blick den Eindruck, dass für die Energieversorgung noch 10 bis 15% der Emissionen emittiert werden könnten.

Kaum vermeidbare Emissionen aus Landwirtschaft und Landnutzung sowie prozessbedingte Emissionen, zum Beispiel bei der Zementherstellung, betragen jedoch schon etwa 10 bis 15%. Daraus resultiert, dass die Energieversorgung vollständig dekarbonisiert werden muss, also die Bereiche Strom, Wärme, Verkehr und Industrie. Diese Dekarbonisierung ist nachhaltig nur über regenerative Energien möglich. Konkret über regenerativ erzeugten Strom, der entweder unmittelbar genutzt wird oder über die Konversionsrouten Power to Gas oder Power to Liquid in gasförmige Energieträger wie Wasserstoff und Methan, die flüssigen Energieträger wie Kerosin oder Schiffsdiesel sowie die Chemierohstoffe Ethen und Propen umgewandelt wird.

### Energiewende erfordert ambitionierte Verkehrswende und Wärmewende

Eine Energiewende, welche die bisherigen Stromanwendungen regenerativ versorgen würde, hätte damit aber lediglich rund 20% des Endenergiebedarfs dekarbonisiert. Zusätzlich müssen der Verkehr (30% des Endenergiebedarfs) und die Wärme (50% des Endenergiebedarfs) klimaneutral versorgt werden. Auch wenn der Begriff Wende schon etwas überstrapaziert ist, müssen also sowohl die Stromwende als auch die Verkehrswende und Wärmewende gestaltet werden.

Im Bereich des Personenverkehrs sind Straßenbahnen und Eisenbahnen ohnehin schon elektrifiziert. Automobile und Zweiräder können ebenfalls elektrifiziert werden. Reichweiten, Ladestationen und Fahrzeugangebot nehmen kontinuierlich zu. Eine vollständige Marktdurchdringung ist nur eine Frage der Zeit.

Im Bereich des Güterverkehrs ist ebenfalls eine Dekarbonisierung erforderlich, zumal dieser Bereich weiterhin hohe Wachstumsraten erfährt. Eine Elek-

trifizierung ist bei lediglich lokal und regional betriebenen Flotten vergleichsweise einfach möglich, wie das Beispiel StreetScooter der Deutschen Post zeigt. Im Bereich der Abfalllogistik sind ebenfalls entsprechende Bemühungen erkennbar.

Der überregionale straßengebundene Verkehr lässt sich ebenfalls elektrifizieren. Auf Autobahnen ist das prinzipiell mit Oberleitungen oder Induktivladungen in der Straße möglich. Mit dieselektisch angetriebenen Lastkraftwagen lassen sich die Strecken bis zur Autobahn bewältigen, bevor dann der vollelektrische Betrieb auf der Autobahn erfolgt. Kleine Schiffe und Flugzeuge lassen sich ebenfalls elektrifizieren. Große Schiffe und Flugzeuge werden aber wohl noch auf Jahrzehnte mit Flüssigtreibstoffen betrieben, die Dekarbonisierung erfolgt dann über regenerativ erzeugten Diesel und Kerosin.

Durch die Energiewende erfährt in der Wärmeversorgung die Elektrowärme eine Renaissance, zudem sind Wärmepumpen erfolgreich am Markt. Historische Bauten, die kaum gedämmt und verändert werden können, sind dann klassisch mit Gas aus regenerativen Quellen zu beheizen.

### Dekarbonisierung der Industrie und Sektorenkopplung vorantreiben

Auch die Industrie muss dekarbonisiert werden. Elektro Stahlwerke, Aluminium- und Kupferelektrolysen werden ohnehin elektrisch betrieben, lediglich die Form der Stromerzeugung wechselt. Zement- und Kalkwerke können mit regenerativ erzeugtem Methan betrieben werden. Die Eisenerzreduktion kann mit regenerativ erzeugtem Koks aus Abfallbiomasse oder über Direktreduktion mit regenerativ erzeugtem Wasserstoff erfolgen. Die Dekarbonisierung von komplexen industriellen Prozessen ist also prinzipiell möglich, wenngleich die Umsetzung sicher noch mehrere Jahrzehnte dauern wird.

Bisweilen wird behauptet, die Energiewende führe zur De-Industrialisierung. In Deutschland stammen jedoch fast 90% der industriellen Bruttowertschöpfung und der Beschäftigten aus Branchen wie dem Maschinen- und Automobilbau, wo die Energiekostenanteile bei maximal 2% liegen. Energieintensive Branchen wie die Produktion von Zement, Glas oder Stahl mit Energiekostenanteilen von bis zu 20% erfahren daher entsprechende Entlastungen, um international konkurrenzfähig zu sein. Von einer De-Industrialisierung kann also keine Rede sein.

Alle energetischen Nutzungen basieren dann langfristig auf regenerativem Strom, entweder unmittelbar oder über die Konversionsrouten Power to X. Regenerativer Strom ist damit die neue „Primärenergiequelle“, es lässt sich also durchaus von einer „Stromgesellschaft“ sprechen.

Erneuerbarer Strom, in Deutschland vorzugsweise Wind- und Solarstrom, ist natürlich fluktuierend. Am

besten ist es daher, diesen direkt zu verbrauchen, was mit einer Sektorkopplung (Strom, Wärme, Verkehr, Industrie) leichter möglich ist und zudem den Speicherbedarf senkt. Über eine Umwandlung zu Wasserstoff und Speicherung lässt sich sogar der höchst unwahrscheinliche Fall von mehreren Wochen ohne Stromproduktion überbrücken. Die Umsetzung der Paris-Ziele wird dazu führen, dass alle europäischen Länder auf erneuerbare Energien umsteigen, dann ist der geschilderte Fall noch unwahrscheinlicher.

### **Eine flächensparende Energiewende erfordert große Energieeffizienz**

Erneuerbare Energien benötigen im Vergleich mit konventionellen Kraftwerken deutlich mehr Fläche. Szenarien für Niedersachsen für eine regenerative Vollversorgung haben einen Flächenbedarf von 2% der Landesfläche für Windkraftanlagen und 5% der Landwirtschaftsfläche für Photovoltaik ergeben. Voraussetzung dafür ist, dass durch Steigerung der Energieeffizienz in allen Bereichen der Energiebedarf um rund 50% gesenkt wird und damit eine flächensparende Energiewende möglich macht. Mit zunehmender Flächenbelegung steigt auch der Aufwand für Akzeptanz und Partizipation der betroffenen Bevölkerung.

Ein Wort noch zur Atomenergie. Ungeachtet der Fragen zur Sicherheit und Endlagerung ist die Stromerzeugung mit Atomenergie die teuerste Option einer klimaneutralen Stromerzeugung. Laufende Reaktorbauprojekte in Frankreich und Finnland zeugen davon. Letztlich werden Windkraft und Photovoltaik immer kostengünstiger, konventionelle Kraftwerke hingegen immer teurer. Auch aus Kostengründen ist eine vollständige Energiewende unumgänglich.

### **Ein vollständiger Ausstieg aus der Kohleverstromung ist erforderlich**

Der Ausbau der regenerativen Stromerzeugung auf möglichst 100% ist die eine Seite der Medaille, die andere Seite ist dann zwangsläufig der Ausstieg aus der Kohleverstromung und danach auch aus der Nutzung der fossilen Energieträger Öl und Gas.

Der Sachverständigenrat für Umweltfragen (SRU) hat dazu den Kohleausstieg im Konsens bis 2040 vorgeschlagen. Im Konsens heißt, Unternehmen, Gewerkschaften, Politik, Wissenschaft und Umweltverbände formulieren einen unternehmens- und sozialverträglichen Rahmen für den Ausstieg. In diesem langfristigen Rahmen kann und soll marktwirtschaftlich gehandelt werden und der ohnehin notwendige Strukturwandel in den Kohleregionen gestaltet werden, also beispielsweise die Ansiedlung neuer industrieller Produktionsbetriebe. Die derzeitigen Kohleregionen sollten die Chancen als Vorreiter nutzen, denen andere Regionen folgen können, die ebenfalls aus der Kohle aussteigen müssen.

Wie schwer sich Deutschland mit konkreten Maßnahmen zur Umsetzung der Paris-Ziele tut, haben die intensiven Diskussionen um den Klimaschutzplan gezeigt. Je weiter die Ziele in der Ferne liegen, umso leichter ist offenbar der Konsens zu erzielen. Wenn es jedoch um einen konkreten Ausstieg aus der Kohle-, Benzin- und Dieselnutzung geht, ist ein Konsens schon weit schwerer zu erreichen.

Die Energiewende mit regenerativer Stromerzeugung und Kohleausstieg hat darüber hinaus ganz reale Auswirkungen auf die Rohstoffwirtschaft. Der Ausstieg aus der Kohleverstromung führt nämlich auch dazu, dass es keinen Gips mehr aus der Rauchgasreinigung gibt, also das Gipsrecycling ausgebaut und ggf. neue Naturgipslagerstätten exploriert werden müssen. Zudem werden die Verbrennungaschen fast vollständig im Bauwesen verwertet. Diese Mengen müssen dann durch andere Sekundärrohstoffe oder sogar Primärrohstoffe substituiert werden. Ebenso wird es keine Mitverbrennung von Klärschlamm mehr geben, was auch aus Gründen des Phosphorrecycling geboten ist und so den Neubau von etlichen Klärschlamm-Monoverbrennungsanlagen erfordert.

### **Ein weitestgehender Ausstieg aus der energetischen Öl- und Gasnutzung wird folgen**

Der Ausstieg aus der besonders treibhausgasintensiven Kohleverstromung leuchtet noch unmittelbar ein. Vielfach wird angenommen, dass die vergleichsweise weniger klimaschädigenden aber dennoch fossilen Energieträger daher noch eine große Zukunft hätten.

Wie bereits erläutert, sind 80 bis 95% Minderung der Treibhausgasemissionen bis 2050 nur möglich, wenn auch der weitestgehende Ausstieg aus der energetischen Nutzung von Öl und Gas erfolgt, sofern diese fossilen Ursprungs sind. Fossile Gase und Öle können jedoch durch regenerative Gase und Öle substituiert werden und über die Syntheserouten Power to Gas und Power to Liquid hergestellt werden.

Rohöl wird derzeit zu rund 90% energetisch genutzt, lediglich rund 4% werden zur Herstellung von Kunststoffen genutzt. Je zügiger die energetische Ölnutzung beendet wird, umso länger können die Erdölvorräte noch stofflich genutzt werden. Die erzeugten Kunststoffe werden aber, selbst bei etlichen Recyclingdurchläufen, früher oder später zu Abfall, der zum Teil thermisch verwertet wird und dabei auch Treibhausgase emittiert.

Kunststoffe lassen sich jedoch auch ohne fossile Rohöle auf Basis regenerativer Rohstoffe wie Propen und Ethen herstellen, so dass es auch langfristig nicht zu echten Knappheiten kommen wird. Die technischen Infrastrukturen für fossile Gase und Flüssigkeiten können also durchaus für regenerative Gase weiter genutzt werden. Elektrische und stoffliche Infrastrukturen wachsen also zusammen.

### **Carbon Capture and Storage ist für Negativemissionen zu reservieren**

Bisweilen wird die Abscheidung und Endlagerung von Kohlendioxid, also Carbon Capture and Storage (CCS) als Lösung für den Klimaschutz angepriesen. Die dafür geeigneten Speicherstätten in Deutschland reichen aber nur für rund 30 Jahre. Die knappe Ressource unterirdischer Speicherraum sollte daher nicht für Kohlendioxid aus Kohlekraftwerken genutzt werden.

Wenn überhaupt, sollte diese für Kohlendioxid aus Zementwerken genutzt werden, welche prozessbedingt nicht verhindert werden können oder für Emissionen aus der Biomasseverbrennung, weil damit eine echte Senke geschaffen wird.

### **Für Abfallverbrennungsanlagen ergeben sich neue Möglichkeiten**

Im Rahmen der Energiewende kommen auch neue Aufgaben auf die Abfallverbrennungsanlagen zu. Das mag zunächst verwundern, sind doch thermische Anlagen kraftwerksseitig relativ kleine Anlagen mit elektrischen Leistungen von nur 50 Megawatt. Klassische Kraftwerke, nuklear oder fossil betrieben, haben an einzelnen Standorten mehrere 1.000 MW Leistung. Diese Kraftwerke liefern Systemdienstleistungen wie Grundlast, Regelenergie, Frequenzhaltung, Momentanreserve, Versorgungswiederaufbau. Durch den Atomausstieg bis 2022 und die Energiewende wird es jedoch spätestens ab 2050 keine solchen Großkraftwerke mehr geben. Dann sind die über hundert Abfallverbrennungsanlagen für Hausmüll, Sondermüll, Klärschlamm und Ersatzbrennstoffe auch für das Stromsystem von Bedeutung. Denn die besagten Anlagen verfügen in der Regel über Turbinen und Generatoren, also rotierende Massen und können daher einen Beitrag zur Systemstabilität leisten. Zudem sind die Verbrennungsanlagen dezentral über Deutschland verteilt und passen damit bestens zur dezentral organisierten Energiewende. Zudem sind die Standorte etabliert und akzeptiert und verfügen über erfahrenes Personal, so dass diese auch für neue Anlagen im Rahmen der Energiewende zum Beispiel Speichieranlagen attraktiv sind.

Ab 2050 basiert die Stromerzeugung weitgehend auf Wind und Sonne. Dieser regenerativ erzeugte Strom wird immer kostengünstiger. Neu gebaute Abfallverbrennungsanlagen, welche alte Anlagen ersetzen, könnten daher auf Verstromung und Kraft-Wärme-Kopplung verzichten und ausschließlich Wärme produzieren. Damit würde der Wasser-Dampf-Kreislauf anders gestaltet und die Kosten sinken.

### **Hochwertiges Recycling strategischer Rohstoffe ist zwingend notwendig**

Für die Zukunft der Industriegesellschaft ist essentiell, dass sämtliche wirklich endlichen, wirtschaftsstrate-

gische Rohstoffe, also High-Tech-Metalle und Seltene Erden sowie das nicht substituierbare Phosphor hohe zweistellige Recyclingraten erfahren. Diese liegen, wie bereits erwähnt, meistens noch unter 1%.

Vielfach sind sogar entsprechende Recyclingtechniken vorhanden, jedoch fehlt es an weltweiten Sammel- und Aufbereitungssystemen, damit diese Recyclingtechniken auch im großen Stil zum Einsatz kommen können. Bislang konzentriert sich das Recycling vorzugsweise auf Stoffe, zukünftig wird sich auch der Markt für reparierte und aufgearbeitete Komponenten sowie ganze Geräte weiterentwickeln. Globale Wertschöpfungsketten in der Produktion erfordern auch globale Wertschöpfungsketten bei Reparatur und Recycling. Bislang werden viele Lösungen nur national oder bestenfalls europäisch gedacht.

Entscheidend wird letztlich sein, dass Produkte demontage- und recyclinggerecht konstruiert werden. Diese Eigenschaften müssen im Konstruktionsprozess ebenso selbstverständlich werden wie die Kriterien funktional, sicher und kostengünstig. Die Ressourcenkommission am Umweltbundesamt arbeitet an einer Konzeption, bei der langfristig im Rahmen der Produktzulassung auch die Recyclingfähigkeit geprüft werden soll.

Die neuen Infrastrukturen für Erzeugung, Speicherung, Verteilung und Nutzung von regenerativen Energien in den Bereichen Strom, Wärme, Verkehr und Industrie haben einen hohen Bedarf an strategischen Rohstoffen, der langfristig nur durch weitgehendes Recycling dieser Ressourcen zu decken ist. Die Energiewende erfordert auch die Rohstoffwende.

### **Nachhaltige Industriegesellschaft**

Die derzeitige Industriegesellschaft ist noch immer eine fossile Industriegesellschaft und zwar im doppelten Sinne. Zum einen basiert die Energieversorgung in Deutschland und den meisten Industrieländern noch immer auf fossilen Rohstoffen, zum anderen ist fossil das Sinnbild für Strukturen, die es zu überwinden gilt.

Wie oben dargelegt, ist dringend eine Entkopplung erforderlich zwischen Bevölkerungs- und Wirtschaftswachstum einerseits und dem Verbrauch fossiler und metallischer Rohstoffe, Umweltbelastungen und Klimawandel andererseits, um die planetaren Grenzen nicht dauerhaft zu überschreiten.

Zwei essenzielle Säulen zur Umsetzung dieser Entkopplung sind die Energiewende und die Rohstoffwende.

Es wäre vermessen zu behaupten, dass eine gelungene Energie- und Rohstoffwende allein schon eine nachhaltige Industriegesellschaft ausmacht. Energie- und Rohstoffwende sind zwei notwendige, aber nicht hinreichende Rahmenbedingungen.

Eine nachhaltige Gesellschaft muss weitere große Aufgaben bewältigen, wie sie in den siebzehn Sustainable Development Goals der Vereinten Nationen bekräftigt worden sind. Die Ziele betreffen die Beendigung von Hunger und Armut, Sicherstellung von Frieden und Menschenwürde, Förderung von Bildung, Erreichen der Gleichberechtigung, Zugang zu Wasser und Sicherung der Hygiene. Die Ziele sind oftmals eng miteinander verknüpft und nur gemeinsam und nicht isoliert zu erreichen.

Es liegt auf der Hand, dass es dabei keine Königswege gibt und vielfältige Zielkonflikte zu bewältigen sind. Der Sachverständigenrat für Umweltfragen (SRU) hat sich dazu in seinem letzten Hauptgutachten „Impulse für eine integrative Umweltpolitik“ intensiv beschäftigt. Das Spannungsfeld zwischen umweltpolitischen sowie wirtschafts- und sozialpolitischen Zielen kann nur durch vermittelnde und gesellschaftlich attraktive Gestaltungsangebote und Aushandlungsprozesse entschärft werden.

Dazu sind politisch verlässliche Rahmenbedingungen jenseits der Fünfjahresperioden von Regierungen und Aktiengesellschaften erforderlich. Kluges Handeln der staatlichen Akteure gibt Richtungsstabilität und ermöglicht marktwirtschaftlich tätigen Unternehmen die notwendigen Infrastrukturen, Technologien und Dienstleistungen zu entwickeln.

### **Der notwendige Strukturwandel muss aktiv gestaltet werden**

Die nachhaltige Industriegesellschaft als Zielzustand im Jahr 2050 darzulegen ist vergleichsweise einfach. 150 Jahre Industriegesellschaft in den kommenden 35 Jahren zu transformieren ist ein außerordentlich ambitioniertes Programm. Die Herausforderung ist es, den Strukturwandel und die Übergänge zu gestalten. Dabei wird es Gewinner und Verlierer geben. Der Erfolg wird davon abhängen, überzeugende Konzepte für diejenigen aufzuzeigen und umzusetzen, die davon betroffen sind, beispielsweise vom Kohleausstieg. Der Strukturwandel lässt sich aber ohnehin nicht aufhalten, es ist also besser, diesen aktiv zu gestalten.

Grundsätzlich ist dabei Technologieoffenheit eine sinnvolle Strategie. Dennoch muss man sich fragen, welche Technologien überhaupt zukunftsfähig sind. Forschung und Entwicklung sollten sich auf diese konzentrieren. Das Ruhrgebiet ist die Modellregion für den Strukturwandel, wenngleich bisweilen zu lange versucht wurde, sterbende Industriezweige zu retten, statt die Mittel in zukunftsfähige Bereiche zu investieren. Das tut den großartigen Leistungen der Vergangenheit keinen Abbruch und die Leistungen beim Aufbau der Industriegesellschaft sind zu würdigen. Der Wandel von der fossilen zu nachhaltigen Industriegesellschaft bietet aber auch erhebliche industriepolitische Chancen für unsere exportorientierte

Wirtschaft. Denn die Technologien und Infrastrukturen, Dienstleistungen und Lebensstile, die wir hier entwickeln und erproben, werden langfristig in aller Welt gebraucht.

### **Digitalisierung führt zur Re-Industrialisierung urbaner Räume**

Wenn im Jahr 2050 rund 80% der Bevölkerung in urbanen Räumen wohnen, kommt dem Stoffstrommanagement von Städten eine erhebliche Bedeutung zu. Produktion und Recycling, Ver- und Entsorgung lassen sich über innovative logistische Ansätze in Ballungsräumen leichter koppeln als in ländlichen Räumen.

In den letzten Jahrzehnten sind viele Produktionen aus Emissions- und Lärmgründen in den ländlichen Raum verlagert worden. Heute ist es durchaus möglich, etliche Fertigungs- und Produktionsanlagen emissions- und lärmarm auch in urbanen Räumen zu betreiben. Re-Industrialisierung der Städte ist das Stichwort. Diese Re-Industrialisierung könnte die ursprüngliche Einheit von Leben, Wohnen und Arbeiten zurückbringen und damit die vielzitierte Stadt der kurzen Wege, also mehr Mobilität bei weniger Verkehr.

### **Die Industriegesellschaft muss eine nachhaltige Wirtschaft sein**

Angesichts der globalen ökologischen Herausforderungen muss letztlich jede zukunftsfähige Gesellschaft zwangsläufig auch eine nachhaltige Gesellschaft sein. Darüber hinaus stellt sich die Wachstumsfrage. Der SRU hat „Die neue Wachstumsdebatte“ geführt und zahlreiche Bücher zur „Postwachstumsgesellschaft“ hinterfragen die Notwendigkeit von Wachstum. Unabhängig davon stellt sich die Frage, ob wir nicht längst die „säkulare Stagnation“ erreicht haben. Nach dieser Hypothese flacht das Wachstum in reifen kapitalistischen Volkswirtschaften langfristig ab, weil die Wirtschaftsakteure zu wenig investieren und zu viel sparen, wodurch das Wirtschaftssystem in einen stationären Zustand ohne Wachstum übergeht.

Zukünftige Wachstumsraten der klassischen Industrieländer bewegen sich trotz aller Bemühungen von Regierungen und Zentralbanken bestenfalls zwischen 1 und 2%. Die Daimler-Benz-Stiftung untersucht derzeit in einem Projekt mit dem Berlin Institut für Bevölkerung und Entwicklung die Auswirkungen und Konsequenzen einer vermuteten säkularen Stagnation auf den Ressourcenverbrauch.

Eine Fokussierung auf Wirtschaftswachstum scheint ebenso einseitig wie eine Fokussierung auf Postwachstum. Letztlich gilt es zu definieren: Was soll wachsen, was soll schrumpfen? Erneuerbare Energien, Recycling, Gesundheitsvorsorge sollen sicher wachsen, Kohleverstromung, Altlasten, Verkehrsunfälle wohl eher schrumpfen.

Auf der Klimaschutzkonferenz in Paris haben es fast zweihundert Länder der Erde geschafft, sich auf ein gemeinsames Ziel festzulegen. Diese historische Leistung kann gar nicht hoch genug eingeschätzt werden. Es sind zweifelsohne noch erhebliche Anstrengungen erforderlich und der Erfolg ist keineswegs schon sicher. Der notwendige Klimaschutz wird umfassende Innovationen in allen Bereichen des Lebens, Arbeitens und Wirtschaftens auslösen.

## Weiterführende Literatur

Niedersächsisches Ministerium für Umwelt, Energie und Klimaschutz (Hrsg.): Szenarien zur Energieversorgung in Niedersachsen im Jahr 2050. Gutachten. Hannover 2016

Ressourcenkommission am Umweltbundesamt (Hrsg.): Ressourcenleicht leben und wirtschaften. Vision und Maßnahmen in zentralen Aktionsfeldern. Umweltbundesamt. Dessau-Roßlau 2016

Ressourcenkommission am Umweltbundesamt (Hrsg.): Ein ressourceneffizientes Europa. Ein Programm für Klima, Wettbewerbsfähigkeit und Beschäftigung. Umweltbundesamt. Dessau-Roßlau 2016

Sachverständigenrat für Umweltfragen (SRU): Verantwortung in einer begrenzten Welt. Umweltgutachten 2012. Erich Schmidt Verlag, Berlin 2012

Sachverständigenrat für Umweltfragen (SRU): 10 Thesen zur Zukunft der Kohle bis 2040. Kommentar zur Umweltpolitik Nr. 14, Berlin 2015

Sachverständigenrat für Umweltfragen (SRU): Impulse für eine integrative Umweltpolitik. Umweltgutachten 2016. Erich Schmidt Verlag, Berlin 2016