

17. Fachkolloquium JENA-GEOS, Ingenieure gestalten Transformation, 24.5.2023

- Keynote -

# Defossilisierung statt Dekarbonisierung – Kohlenstoff-Wende im Anthropozän

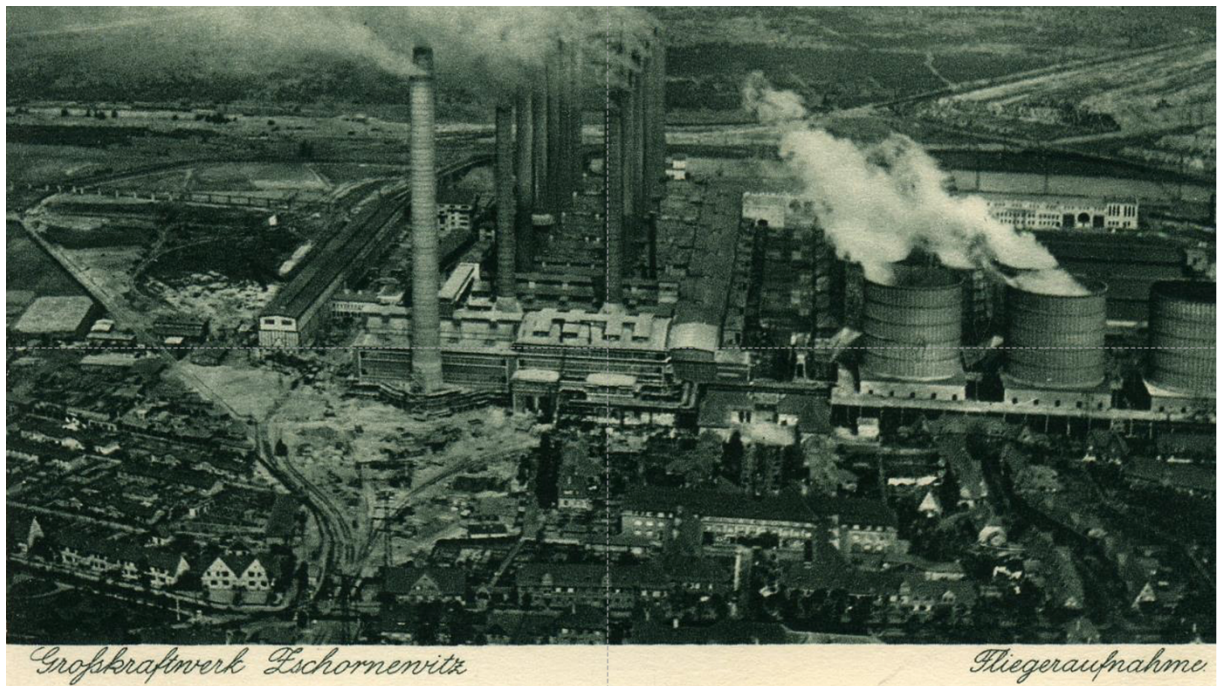
Thies Schröder

Forum Rathenau e.V., Ferropolis GmbH, Energieavantgarde Anhalt e.V.

Glück auf!

Das Programm des **17. Fachkolloquiums** der JENA-GEOS zeigt: Wir leben in mindestens zwei Jahrhunderten.

„Ingenieure gestalten Transformation“ heute unter einem Problem- und Zeitdruck, den wir uns im 20. Jahrhundert aufgebaut haben. Wir arbeiten unter der Befürchtung, die „planetaren Grenzen“ bereits überschritten zu haben. Allerdings wissen wir spätestens seit Galilei und Kolumbus, dass wir die „planetaren Grenzen“ nicht als absolutes Wissen annehmen können.



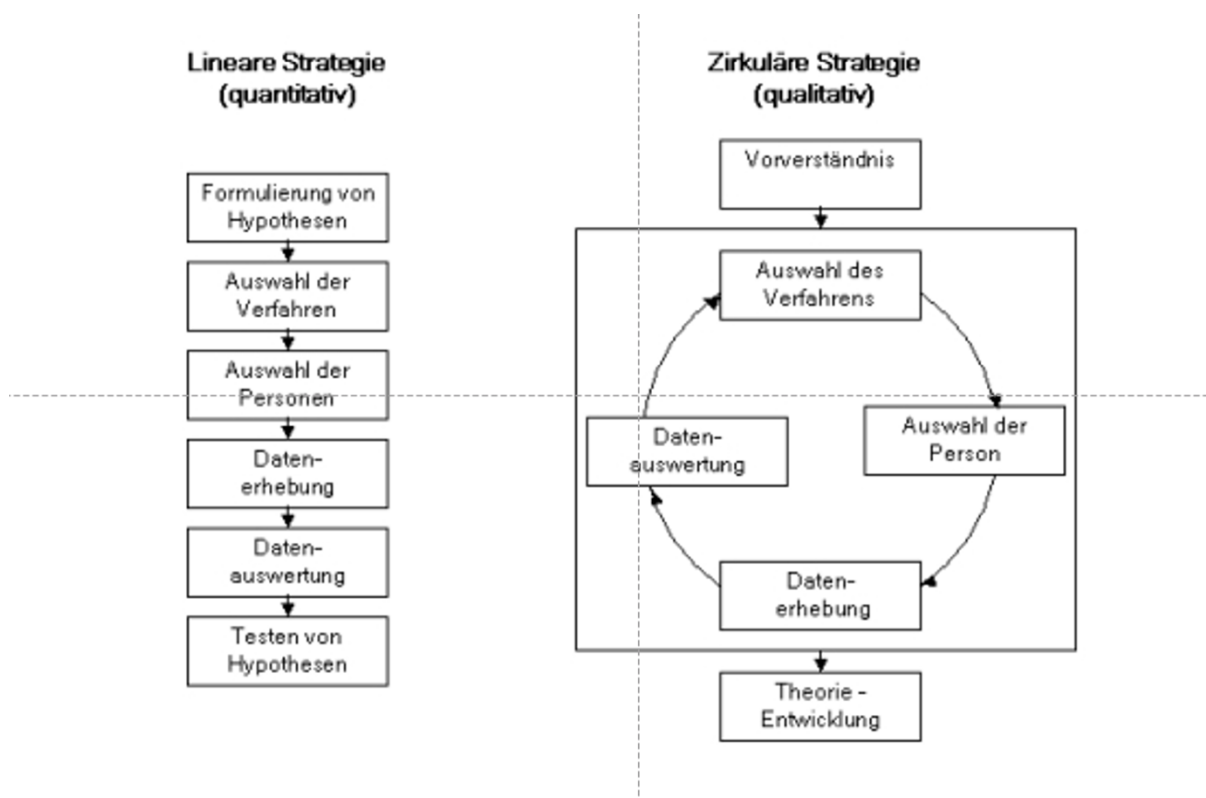
Ingenieure gestalten unter Problem- und Zeitdruck die Mittel und Instrumente, die uns das 21. Jahrhundert bietet und noch bieten wird. Diese Werkzeuge zur Erweiterung der planetaren Grenzen sind keineswegs vollständig ausgereift. Sie müssen im Strukturwandel aber bereits heute – quasi im Erprobungsstadium – angewendet werden, um dem Problemdruck adäquate Lösungen entgegensetzen zu können.

Wir sehen diese doppelte Herausforderung an den Themen des heutigen Konferenztages: Der „Leitungsbau quer durch Deutschland“ beschäftigt uns heute ebenso wie die „Anwendung von KI“. Wir werden etwas über „Deponiekapazitäten“ und über „schlaue Nachbarschaften“, smood, hören.

Die „Ingenieure gestalten Transformation“ heute also ebenso linear wie smart, ebenso in Kreisläufen wie „end oft the pipe“.

Wohin aber führt unser Weg, wenn er uns nicht nur immer im Kreis führt?

Die klassische Methode der Entwicklung und Anwendung von Wissen, der wir uns auch als Ingenieure bedienen, ist die Methode aufeinander folgender Schritte des Erkundens, Experimentierens, Erkennens und Handelns. Ob in der Psychologie oder im Bergbau, ob in der Medizin oder der Geografie, der Geologie oder der Astronomie – mit Hilfe von „Tests“ und immer besseren „Instrumenten“ folgt die Wissenschaft bereits seit der Frühaufklärung einem immer ähnlichen Prinzip, das wir als „lineares Modell“ bezeichnen.



Diesem „linearen Modell“ des quantitativen wissenschaftlichen Arbeitens – und die Arbeit der Ingenieure ist generell ähnlich **deduktiv** aufgebaut – steht das „zirkuläre Modell“ zur Seite, das eher in der qualitativen Forschung und Entwicklung Anwendung findet – und **induktiv** vorgeht.

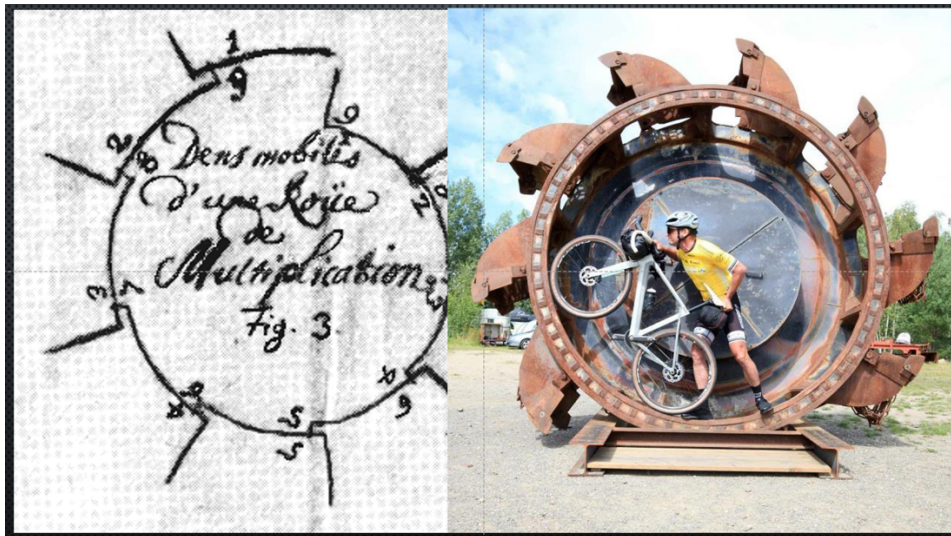
Beide Modelle gehen, ganz im Sinne unserer Wissens-Idee seit der Aufklärung, von einer aufeinander aufbauenden, auseinander ableitbaren, einer wachsenden Erkenntnis aus.

Grundlage für dieses mechanistische Denken, das Zeit und Raum in ein Verhältnis setzt, bildet die **Metaphysik** des Gottfried Wilhelm Leibniz. Leibniz betrachtete Raum und Zeit nicht mehr als absolut gegeben, sondern als Ordnungsbeziehungen in einer materiellen Welt.

Leibniz definierte: **Raum** ist die Ordnung der zur gleichen Zeit existierenden Dinge. **Zeit** ist die Ordnung der **kontinuierlichen Veränderungen** dieser Dinge.

Diese Erkenntnisse waren für Leibniz immer anwendungsorientiert. Der Universalgelehrte wirkte als Historiker wie als Theologe, als Philosoph wie als Jurist. Als Mathematiker begründete er eine Mathematik räumlicher Lage- und Ortsbeziehungen, und als Archäologe erforschte er Fossilien. Immer war Leibniz auch Ingenieur. Als solcher „konstruierte“ er Rechenmaschinen und Reisekutschen, Unterseeboote, städtische Wasserleitungen und Windmühlen.

Er konstruierte? Er beschrieb, erklärte, entdeckte also, und zog daraus Schlussfolgerungen der Optimierung von Prozessen. So „konstruierte“ Leibniz Instrumente und technische Werkzeuge – Infrastrukturen einer Ordnung der Dinge in Raum und Zeit.



Wenn wir heute also miteinander die Ideen der Ingenieure hören, die Transformation gestalten, hilft dieser Gedanke an Leibniz und die anderen frühen Ingenieure. Zugleich aber macht dieser Vergleich deutlich: die „beste aller möglichen Welten“ ist mit den klassischen, den mechanistischen Weltkonstruktionen vielleicht nicht mehr zu erreichen.

Wir zweifeln, ob die Moderne noch Fortschritt hervorbringen kann, oder ob sich dieses Projekt der Moderne in einer selbstzerstörerischen Entwicklungslogik befindet.

Soziologen wie Hartmut Rosa und Andreas Reckwitz sprechen vom „rasenden Stillstand der Spätmoderne“ (Rosa). Der Moderne schreiben sie ein grundlegendes strukturelles Problem zu: Das Projekt der Moderne, nämlich das normative Ideal eines gesamtgesellschaftlichen Fortschritts zu sein, sei ins Wanken geraten.

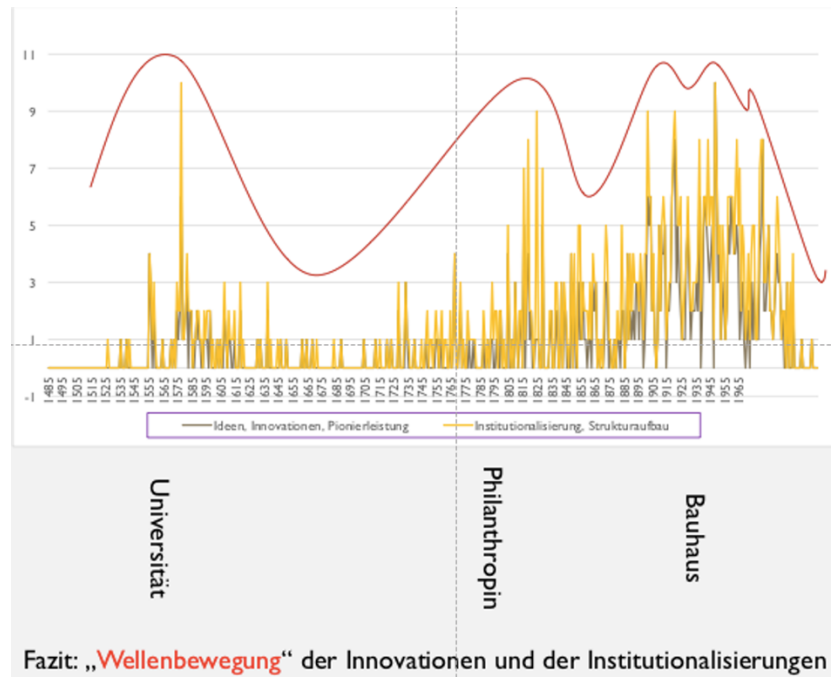
Verlieren wir uns also im Klein-Klein der schrittweisen Optimierungen, der Stabilisierungen eines ins Ungleichgewicht geratenen Systems, statt grundlegende neue Zukunftsbilder zu entwickeln?

Eine aktuelle Studie der Universitäten von Minnesota und Arizona behauptet, dass die Originalität wissenschaftlicher Arbeit seit dem Zweiten Weltkrieg zurückgegangen sei. Und das, obwohl aktuell viel mehr geforscht und publiziert wird als damals. Diese Entwicklung alarmiert die Fachwelt. Denn der Wissenschaft kommt in Krisenzeiten wie diesen eine besonders wichtige Rolle zu.

Über die Gründe dafür, dass wissenschaftliche Erkenntnisse immer seltener bahnbrechend sind, wird spekuliert: Sind die Bedingungen für die Forschung heutzutage innovationshemmend? Oder liegt es an der immer größer werdenden Spezialisierung der einzelnen Fachrichtungen?

Haben wir also eine den Problemen adäquate Wissens- und Erkenntnislage? Wir hängen gleichzeitig einer Fortschrittslogik an, die in der Aufklärung ihren Ausgang nahm und in der Moderne ihren bisherigen Höhepunkt fand, und wir zweifeln zugleich, ob linearer Fortschritt überhaupt noch möglich sein kann.

Wie aber wollen wir Probleme überwinden, wenn nicht in der Idee eines Fortschritts?



Dieses **Transformationsparadox** tritt angesichts globaler Krisen wie dem Klimawandel, den Instabilitäten des globalen Kohlenstoffkreislaufs, immer deutlicher hervor.

Hoffnungen auf Auswege suchen wir in zwei Feldern: Zum einen in der **Digitalisierung**, also der Bewältigung enormer Herausforderungen **und** Informationsmengen durch parametrisches oder algorithmisches Denken.

Die berechenbare Vielfalt an Modellen und Szenarien soll, so die Erwartung, Entscheidungsgrundlagen bieten, so dass demokratisch gewählt und partizipativ beschlossen werden kann. Also unendliche Wahlmöglichkeiten, die zu freien Entscheidungen verhelfen, die dann hoffentlich gesamtgesellschaftlich klug und fortschrittlich wirken mögen.

Im aktuellen politischen Diskurs wird diese Hoffnung meist als „Technologieoffenheit“ umschrieben.

Zum anderen liegt eine Hoffnung auf der **Simplifizierung**: einfache Wahrheiten, neue Verabsolutierungen, ein sanfter Naturalismus oder Autoritarismus oder ein paternalistisches Staatsverständnis folgen auf die dialektische Konkurrenz der politischen Systeme, wie sie das 20. Jahrhundert prägte. Die Sozialanthropologin Shalini Randeria hat diesen „sanften Autoritarismus“ erklärt, und auch Historiker wie Philipp Ther kommen zu ähnlichen Schlussfolgerungen. Randeria: „Der neoliberale Kapitalismus ... rief bei vielen Menschen ein Gefühl der Machtlosigkeit hervor, die eigenen Lebensbedingungen zu ändern. Die Enttäuschung über die nicht erfüllten Versprechen der Demokratie fördert die Sehnsucht nach einer starken Führung.“ (Randeria in FR, 12.5.2023)



Was Karl Polany bereits 1944 als „**Große Transformation**“ bezeichnete, als er die industrielle Revolution als „politische Destabilisierung“ definierte, prägt den Alltag unserer Debatten heute. Keine Tagung, ohne die „große Transformation“ zu bemühen.

Nicht nur der WBGU, der Wissenschaftliche Beirat der Bundesregierung für Globale Umweltveränderungen, fordert heute angesichts der Überschreitung „planetarer Grenzen“ einen „neuen Gesellschaftsvertrag für die Große Transformation“. Dieser Gesellschaftsvertrag müsse zu einem „tiefen gemeinsamen Verständnis von klimaverträglicher Wertschöpfung und nachhaltiger Entwicklung“ führen, um „die globale Krise der Moderne“ zu überwinden.

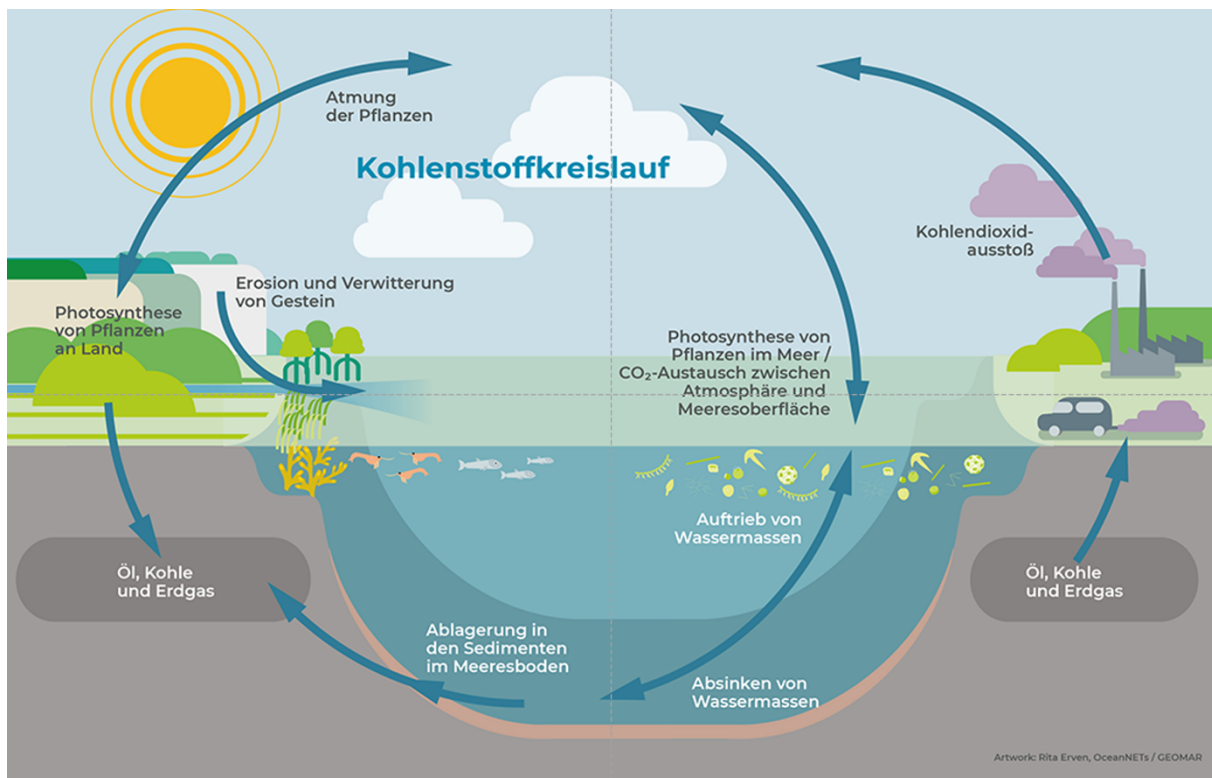
So formuliert denn auch das Förderprogramm **STARK** (Stärkung der Transformationsdynamik und Aufbruch in den Revieren und an den Kohlekraftwerkstandorten): „Für die Kohleregionen führt der Kohleausstieg zu einem umfassenden Strukturwandel. Mit der Förderung und Verarbeitung von Kohle fällt ein bedeutender Faktor für die lokale Wirtschaft weg, der durch neue Wertschöpfungsmöglichkeiten und alternative Produktionsweisen aufgefangen werden muss. Die Transformation der Regionen soll einen Beitrag zum Klimaschutz leisten und gleichzeitig als Beispiel dienen, um auch andere Staaten zum Kohleausstieg zu motivieren.“

Doch wie können wir sicherstellen, dass die Lösungsideen des Strukturwandels ihre Wirksamkeit nach 2030 wirklich entfalten können, also tatsächlich zukunftsfähig sind? Oder ob in 2030ff. die Zukunft nicht bereits ganz andere Fragen und Antworten ermöglicht?

Wie können wir sicherstellen, dass auf dem Weg von der „Digitalisierung“ zur „digitalen Transformation“ (Sebastian Thrun) zukünftig nicht allein bots mit bots sprechen, sondern dass wir auch weiterhin Wissen nicht nur reproduzieren, sondern neu aufspüren?

Gerade die Ingenieurwissenschaften müssen experimentieren, müssen im Zeitalter der KI lernen, Fragen zu stellen, statt sie einfach nur beantworten zu wollen.

Eine solche **Schlüsselfrage** besteht in der zukünftigen **Kohlenstoff-Strategie**. Bisher ist im Zusammenhang mit dem Ausstieg aus der Braunkohle- und generell der Kohleverstromung meist von „Dekarbonisierung“ die Rede. Hier liegt allerdings ein Missverständnis vor.



Der Verzicht auf die Verbrennung von Kohle in der Energieversorgung muss ergänzt werden durch einen neuen Umgang mit dem Kohlenstoff. Es geht nicht darum, auf Kohlenstoff in allen Produktionsabläufen zu verzichten, was auch gar nicht möglich wäre, sondern um die Substitution fossiler Kohlenstoffquellen.

Noch ist dieser Zustand nicht erreicht. Doch die Weichen sind gestellt. Die Internationale Energieagentur (IEA) stellte im April 2023 erneut fest, dass „der globale Kohlendioxid-Ausstoß bei der Energieerzeugung auf einem Rekordniveau verharrt“. Ohne saubere Energie wäre die Zunahme der CO<sub>2</sub>-Emissionen allerdings fast dreimal so hoch gewesen. „Die Auswirkungen der Energiekrise haben nicht zu dem anfänglich befürchteten starken Anstieg der globalen Emissionen geführt – und das dank des herausragenden Wachstums von erneuerbaren Energien, Elektrofahrzeugen, Wärmepumpen und energieeffizienten Technologien“, sagt IEA-Direktor Fatih Birol.

Während also die verstärkte Fortsetzung aller Anstrengungen zum Erreichen der Klimaziele unser Handeln im Bereich der Energiewende weiterhin bestimmt, und hier noch weitere Beschleunigungen der Defossilisierung der Energiesysteme erforderlich sind, muss heute zeitgleich der Einstieg in ein neues **Kohlenstoff-Management** gelingen.

In seinem Buch „Tanz der Elemente – Über die Schönheit des Periodensystems“ beschreibt Michael Pilz (Pilz 2019) den Kohlenstoff als „Mediator im System, gesellig und genügsam, es gibt niemanden, der sich nicht an ihn binden möchte, er verbindet sich auch gern mit Seinesgleichen und, weil sein Atom so winzig und kompakt ist, fester als die Elemente unter ihm.“ Kohlenstoff finden wir als „Ketten, Netzwerke und Ringe (...), die der Kohlenstoff abermillionenfach in seinen Molekülen bildet, (...). In harmonischen Aminosäuren, die

sich in den Zellkernen zu Erbsträngen verdrillen. Im Kohlendioxid, das sich im Chlorophyll der Pflanzen zu Glukose umbaut. Alles Kohlenstoff. Der Mensch verwandelt die Glucose wieder in Kohlendioxid.“

Aufgrund der klimaschädlichen CO<sub>2</sub>-Bilanz unseres Wirtschaftens im 20. Jahrhundert und bis heute ist es „verständlich und nachvollziehbar ...“, dass Kohlenstoff ... nicht gerade den besten Ruf genießt – insbesondere, wenn durch den Einsatz von fossilen Rohstoffen klimaschädliches Kohlenstoffdioxid (CO<sub>2</sub>) entsteht. Kohlenstoff selbst hingegen ist für uns lebensnotwendig – wörtlich, weil Kohlenstoff nach Wasserstoff und Sauerstoff das wichtigste Element im menschlichen Körper und in der Natur ist. Aber auch die Grundprodukte unserer modernen Industriegesellschaft wie Stahl, Aluminium, Zement oder Kunststoff bestehen aus Kohlenstoff oder benötigen ihn, um hergestellt werden zu können.

Wir können also auch zukünftig nicht auf Kohlenstoff verzichten. Und das müssen wir auch nicht. Aber wir müssen ganz anders damit umgehen. Dafür brauchen wir neue Technologien und Prozesse, die mit weniger oder teilweise auch ganz ohne Kohlenstoff auskommen. Und wir brauchen andere Kohlenstoffquellen, vor allem in Form von sekundären Rohstoffen, die im Sinne einer Kreislaufwirtschaft oder Circular Economy wieder und wieder verwendet werden – anstelle von fossilen Rohstoffen.

Dass dies die Industrie vor große Herausforderungen stellt, ist uns natürlich bewusst – nicht zuletzt, weil neue Technologien häufig sehr viel mehr Energie benötigen und der Einsatz von grünem Strom oder grünem Wasserstoff zurzeit noch höhere Kosten verursacht. Doch zugleich liegen in solchen innovativen Lösungen für die klimafreundliche Produktion unserer Grundstoffe und die Transformation in eine Low Carbon Industry enorme internationale Wettbewerbschancen.“ (Carbon Management Strategie Nordrhein-Westfalen, Okt. 2021)

Eigentlich hatte es die Natur (was auch immer das ist) vortrefflich eingerichtet: „In Kreide, Kalk und Kohle ruht der Kohlenstoff des vormenschlichen Lebens. Dass die menschliche Kultur des auch im 21. Jahrhundert längst nicht überwundenen Industriezeitalters auf den Kohleflözen oder fossilen Ölquellen errichtet ist, gehört zu den fantastischen Geschichten der Naturgeschichte.“ (Pilz 2019)

Der globale Kohlenstoffkreislauf jedoch, der die Stabilität des Lebens erst möglich machte, ist durch die übermäßige **Verbrennung** der „**fossilen Energieträger**“ im Industriezeitalter aus dem Gleichgewicht geraten.

„Wenn man (den Kohlenstoff jedoch) nicht verbrennt, sondern, wie es sein Platz im Periodensystem nahelegt, zu Ketten aneinanderknüpft, werden aus Kohlenwasserstoffen sogenannte Kunststoffe. ... Plastik war die Neuschöpfung aller organischen Materie und die Zukunft, als die Zukunft noch ein Grund zur Freude war. Plastik war Pop. Ohne Vinyl hätte es keine Popmusik gegeben, ohne Zelluloid kein Kino. Heute treiben Plastikabfallinseln auf dem Meer wie Eisberge. An Land werden Plastikabfallberge, für die sich niemand mehr interessiert, verbrannt wie alle anderen fossilen Energiequellen und Treibstoffe.“ (Ebd.)

„Wer verbrennt, verschwendet. Immer!“ – so Christian Stöcker am 9. April dieses Jahres (<https://www.spiegel.de/wissenschaft/mensch/thermodynamik-in-der-energiegedebatte-wer-verbrennt-verschwendet-kolumne-a-e52919b9-2e3f-4b8a-875a-0f5411b339e5>) Anhand des Zweiten Hauptsatzes der Thermodynamik führt Stöcker aus, dass der aktuelle politische Streit um Wärmepumpen und e-Fuels unter den Betrachtungen der effizienten Energieumwandlung wie der Schadstoffbilanzen wissenschaftlich keine relevante Grundlage hat. „Lösungen, bei denen nichts verbrannt werden muss, sind daher, wo immer

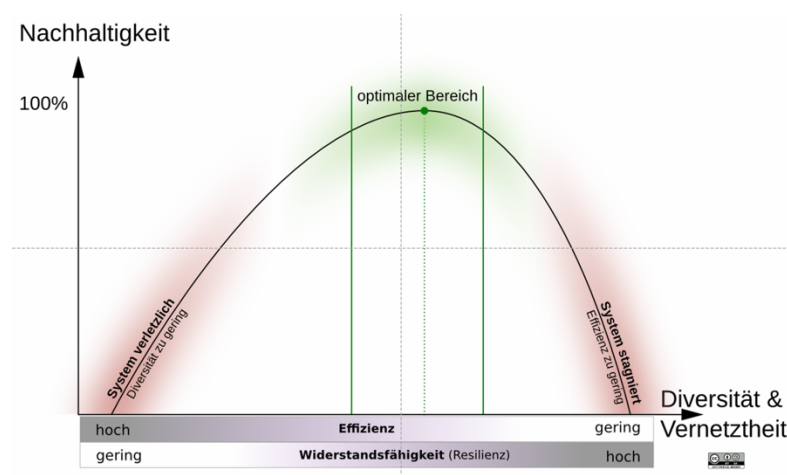
möglich, vorzuziehen. Wärmepumpen und Elektromotoren zum Beispiel. Auch damit wird weiter Energie verschwendet, so ist die Thermodynamik nun einmal. Aber deutlich weniger, als wenn man etwas verbrennt. Ein System, das Arbeit verrichtet und dabei gar keine Energie verliert, wäre ein Perpetuum mobile, und das gibt es ja bekanntlich nicht.“

Warum also streiten wir trotz dieser Einsichten heute so intensiv um die **Zukunft des Verbrennens**?

Kulturgeschichtlich ist dies aufgrund der immensen Bedeutung des Feuers, der Bedeutung jeder massiven Freisetzung von Energie erklärlich, wie sie im Verbrennen geschieht. Diese Fähigkeit des kontrollierten Verbrennens begründet nicht nur die Beherrschung des Feuers als Grundlage unserer Kulturwerdung, sondern auch die Wirkung der Maschinen, der Kraftwerke und damit unserer Entwicklung im Industriezeitalter. Dieses Industriezeitalter zeichnete sich aus durch eine „Ökonomie, die vor allem handfeste Dinge in großer Zahl, mit hohem Energieeinsatz und zu möglichst günstigem Preis (...) produziert. Aber diese Zeiten sind vorbei. Bereits seit den 1970er und beschleunigt seit den 1990er Jahren erodiert die klassische Industriegesellschaft. ... Mit dem Abschied von der Industrieökonomie alter Schule wälzt sich eine ganze Struktur des Sozialen, des Urbanen, des Politischen und der Identitäten um – nur, dass dieser erneute Wandel heute deutlich schneller vonstatten geht als jener im 19. Jahrhundert (von der Agrar- zur Industriegesellschaft; ts), nämlich binnen einer Generation.“ (Andreas Reckwitz 2019: Das Ende der Illusionen, Politik, Ökonomie und Kultur in der Spätmoderne, S. 138)

Wenn wir also heute nach Alternativen suchen zu Produktionsketten, und diese in Produktionskreisläufen finden, die wiederum auf Kohlenstoffen basieren, aber eben nicht mehr auf deren Verbrennung, müssen wir zugleich immer mitdenken, dass wir mit diesen Schritten von der industriellen in die postindustrielle, die digitale Gesellschaft übergehen. Das ist ohne Trennungsangst und Trennungsschmerz nicht möglich.

(Was übrigens die wachsende Bedeutung der **Industriekultur** als Begleitung dieser Veränderungsprozesse erklärt.)



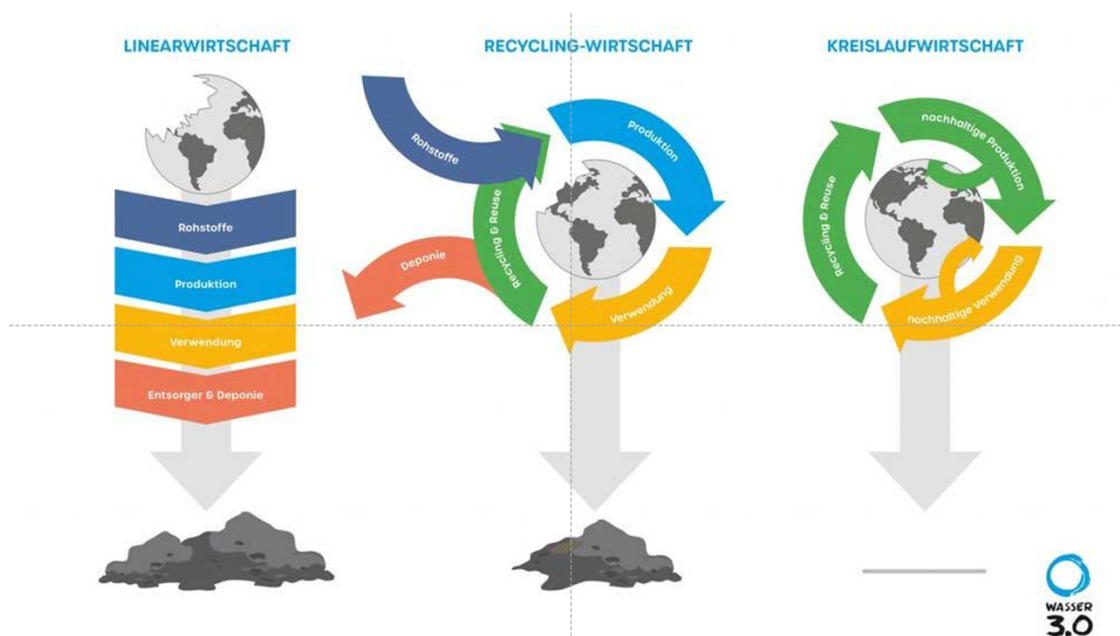
Wie komplex die **Kohlenstoff-Wende** im Anthropozän ist, zeigt das Beispiel SKW in Piesteritz, Lutherstadt Wittenberg. Sie kennen die Stickstoffwerke Piesteritz, die Düngemittel und Ad Blue herstellen, vermutlich als größten Erdgasverbraucher Deutschlands. Und als jüngst viel diskutiertes Beispiel einer möglichen Deindustrialisierung Deutschlands.



Wie wirkt sich die Energiewende auf ein energieintensives Unternehmen wie SKW aus? Die Firma hat in der Gas-Krise einen integrierten Ansatz entwickelt, der aus der Energiewende zugleich eine Kohlenstoffwende werden lässt. SKW will nicht nur bis 2027 auf grünen Strom umsteigen, sondern zugleich den Standort sichern, indem das Unternehmen seine Rolle in einer Kohlenstoffwirtschaft der Zukunft neu definiert. „Sei es die Produktion und Verwendung von Biomethan, der Einsatz regenerativer Energien, die Produktion und der Einsatz von grünem und blauem Wasserstoff oder gar die Bindung von überschüssigem Kohlendioxid anderer Industrien als sogenannte CO<sub>2</sub>-Senke. SKW Piesteritz setzt diese Ideen um. Ein Baustein ist dabei die intensive Zusammenarbeit mit dem neuen Großforschungszentrum Center for the Transformation of Chemistry (CTC).“  
(Carsten Franzke, SKW)

Prof. Peter Seeberger, Gründungsdirektor dieses CTC, formuliert es so: „Die Transformation der Chemie hin zu einer nachhaltigen Kreislaufwirtschaft ist eine Generationenaufgabe, die es zu lösen gilt, um chemische Produkte in Zukunft für die vielen Anwendungen verlässlich herstellen zu können. ... Gemeinsam wollen wir komplette Wertschöpfungsketten neu erarbeiten, in Zukunft die Versorgungssicherheit mit Chemieprodukten durch Produktion in Deutschland sicherstellen und dadurch Arbeitsplätze in der Region halten und neu schaffen“, so Seeberger.

In diesem so beschriebenen Schritt geht es um eine **Anpassung** bestehender Produktionsprozesse. Bereits 2015 hatte SKW für Aufmerksamkeit gesorgt, als das Unternehmen CO<sub>2</sub> aus der Industrieanlage, das bei der Produktion von Ammoniak entsteht und zuvor ungenutzt in die Umwelt entlassen wurde, nun als lebensmittelreines Kohlendioxid über eine extra gebaute, 500 Meter lange Leitung in ein benachbartes Gewächshaus leitete, wo die sog. Luther-Tomaten damit gezielt ernährt werden. Auch Wärme für die Tomaten liefert SKW.



Doch die Entwicklung einer nachhaltigen Kohlenstoffkreislaufwirtschaft wird bei einer solchen **Optimierung** von **Transformationen** nicht stehen bleiben. Es geht auch um **Disruptionen**.

Bleiben wir beim heutigen Programm, um dies zu untersetzen. Wir werden noch einen Vortrag hören zum Thema „Deponien“, ein Thema, das auf den ersten Blick der Idee der Kreislaufwirtschaft diametral entgegensteht.

Wir wissen, dass erst seit ca. 120 Jahren Abfälle systematisch entsorgt werden, und zwar anfangs in den großen Städten. Dort kam es aufgrund der Menschen-Konzentration bei der mittelalterlich anmutenden Entsorgung in die Gosse zu Krankheiten. Die Hygienekrise führte also zur Innovation der Müllentsorgung, den Deponien.

Was bis in die 1960er Jahre dezentral erfolgte, mit Pferdefuhrwerken und kleinen Müllkippen zum Beispiel in ehemaligen Kiesgruben vor den Toren der Städte, wurde seitdem zu einem sehr großen, global organisierten Markt. Aus den Müllkutschern auf dem Dorf und in den Städten wurden Abfallentsorgungsunternehmen, die heute zu Kreislaufwirtschaftsunternehmen werden wollen. Ursache dieser Marktrelevanz des Müll-Themas war natürlich vor allem das enorme Aufkommen, das seit den 1960er Jahren exponentiell anwuchs. Und: die zu entsorgenden Materialien konnten die Schweine nicht mehr fressen. Willkommen im Zeitalter langer Kohlenstoffketten, des Plastiks oder Kunststoffs.

Die US-amerikanische Archäologin Allison Emmerson schlussfolgerte nach Ausgrabungen in Pompeji 2009: „Seit Menschen Werkzeuge verwenden, recyceln und verwenden wir sie auch wieder. ... Nicht erst die Römer haben das Recycling erfunden. Die moderne Welt hat das **Nicht-Recycling** erfunden.“

Heute erwachsen aus der Deponierung erneut große Marktchancen. Alte Deponien könnten als Rohstofflager dienen, und seit aus Abfällen Wertstoffe wurden, ist das urban mining ein Zukunftsthema. Können Plastikabfälle zu neuen Kohlenstoffquellen werden? Startups arbeiten genau daran. Doch trotz dieser Chancen: die Deponierung werden wir nicht unendlich fortsetzen.

Wir müssen also zugleich Prozesse der Verwertung optimieren **und** grundlegend verändern. Hier ist es wichtig, Raum **und** Zeit in Entscheidungen einzubeziehen. Eine Deponie ist vielleicht nur ein Zustand auf Zeit, bis sie zur Kohlenstoffquelle wird. Bisheriges Planungsrecht argumentiert vor allem raumbezogen, weniger Raum-Zeit-integrierend.

Daher ist nun auch die Bundesagentur für Sprunginnovationen SPRIN-D in Leipzig ein Teil des Strukturwandels. Allerdings keiner, der bei Optimierungen stehen bleiben soll. Sprunginnovationen wirken „wirtschaftlich disruptiv und gefährden jene, die in Pfadabhängigkeiten nur inkrementell innovieren, also erfolgreiche Technologien in kleinen Schritten verbessern.“ „Bei Sprunginnovationen geht es nicht darum, immer weiter zu optimieren, sondern grundsätzlich zu erneuern. ... Wirtschaftliche Macht verschiebt sich. Radikal neue Technologie hat manchmal sogar die Kraft, politische Systeme zu Fall zu bringen und neue zu erschaffen. Wir brauchen Sprunginnovationen gegen den Klimawandel, Armut und die großen Krankheiten.“  
(Rafael Laguna de la Vera und Thomas Ramge)

Sprunginnovationen wirken also eigentlich gerade nicht im Sinne des „Strukturwandels“, sondern des „Strukturbruchs“, der ja eigentlich durch ein Programm wie das Strukturstärkungsgesetz STARK vermieden werden soll.

Auch dies ist ein unvermeidliches **Transformationsparadox**.

Ein solcher Strukturbruch, eine angewendete Sprunginnovation, war vor mehr als 100 Jahren der Bau des Braunkohlekraftwerks **Zschornewitz**, aus dem unter anderem die Stickstoffwerke Piesteritz mit Energie versorgt wurden. Denn das in Piesteritz angewandte Haber-Bosch-Verfahren zur Ammoniaksynthese aus Stickstoff und Wasserstoff ist ein hochenergetischer Prozess. Ohne den aber Stickstoffdünger nicht im industriellen Maßstab hergestellt werden könnte, und genau darauf kam es an: Als im Ersten Weltkrieg natürliche Düngemittel nicht mehr verfügbar waren, schlug die Stunde der Elektrochemie. Das 1908 von Fritz Haber patentierte Verfahren wurde zur Grundlage der Nahrungsmittelversorgung der im Industriezeitalter rasch wachsenden Weltbevölkerung. Und die notwendige Energie entstammte dem eigens errichteten Braunkohlekraftwerk Zschornewitz, dessen Ingenieur Klingenberg den AEG-Chef Walther Rathenau überzeugte, dass sich „Strom leichter transportiert als Kohle“, dass Großkraftwerke neuen Typs also unmittelbar „auf der Kohle“ errichtet werden sollten, um Energie in Mengen für das „Elektropolis“ Berlin wie auch für die elektrochemische Industrie umwandeln zu können.

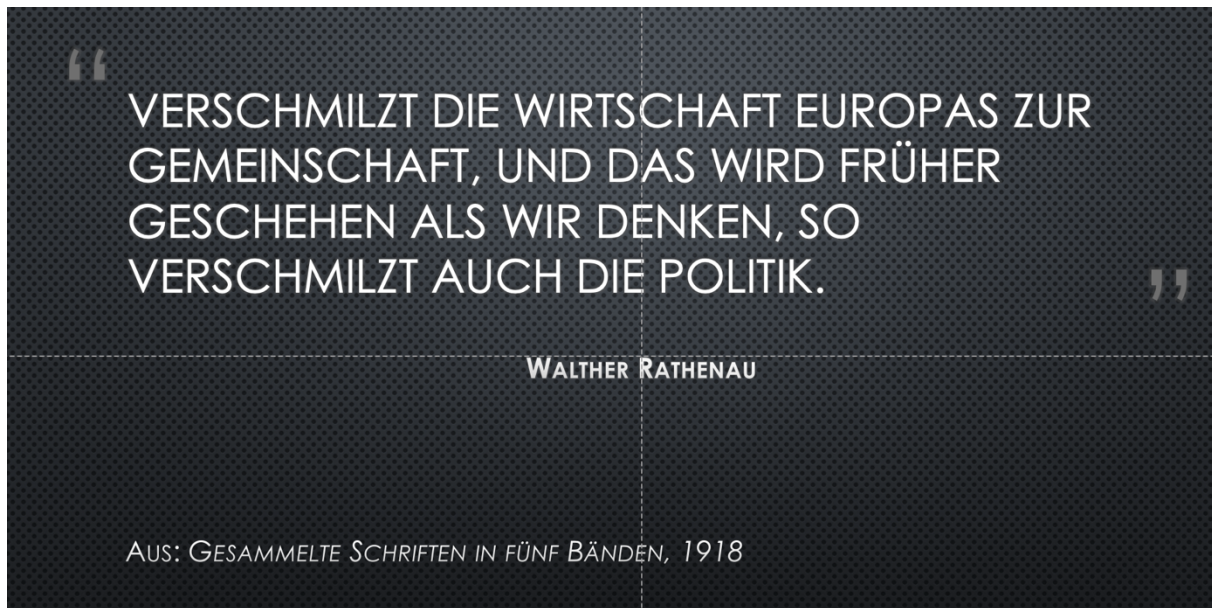


Eine Sprunginnovation kommt also selten allein, sondern löst auch umliegende Entwicklungen aus. Und wenn man diese Entwicklungen anreizt und steuert, wird der Strukturwandel im besten Falle nicht als Strukturbruch **erlebt**.

Das **Forum Rathenau** ist auch deshalb gegründet worden. Um „von kommenden Dingen“ zu berichten, um die Chancen des Strukturwandels aus der Zukunft heraus zu definieren und um eine Gründungskultur zu etablieren, die sich eng an den Zukunftsherausforderungen orientiert und damit den Strukturwandel systematisch aus eindimensionalen Pfadabhängigkeiten löst.

Oder, um es mit Eike von Oppeln-Bronikowski, Vorstand der Rathenau-Gesellschaft, zu sagen: „Von kommenden Dingen berichtet Walther Rathenau in seinem 1918 erschienenen Werk. 100 Jahre sind seither vergangen und doch ist dieses Werk so aktuell, als hätte er es heute geschrieben. (Rathenau) belässt es nicht bei der Beschreibung von Wirtschaft, Politik und Gesellschaft, sondern verdeutlicht, dass die menschliche Gemeinschaft keine Zweckvereinigung ist, sondern sich im Erkennenwollen und Umsetzen eines

gemeinsamen Planes wiederfindet. Dieser Plan bedenkt Achtung des anderen, Wahrung auch dessen Interessen und Freiheit in Verantwortung.



In der Beschreibung des Ziels und des Weges dorthin erarbeitet Walther Rathenau für den modernen Menschen Erkenntnis- und Handlungsanweisungen, die uns auch in Zukunft Orientierung geben könnten.“

([http://walther-rathenau.de/wp-content/uploads/2022/05/Oppeln-Bronikowski\\_Von-kommenden-Dingen.pdf](http://walther-rathenau.de/wp-content/uploads/2022/05/Oppeln-Bronikowski_Von-kommenden-Dingen.pdf))

Eine solche Orientierung bieten die **Carbon Cycle Culture-Club**-Veranstaltungen für die Mitglieder des Forum Rathenau. Als beispielsweise Prof. Seeberger im Februar 2022 im Carbon Cycle Culture Club („C4“) des Forum Rathenau in der Schaltwarte des Kraftwerks Zschornowitz zum Thema “Kohlenstoff-Resilienz” sprach, machte er diese Zukunftsdimension deutlich: „Bei uns geht’s eigentlich um eine komplette Transformation der Chemie.“ Auch in Zukunft werde nicht alles, was verbraucht werde, aus der Natur kommen. Seeberger: „Wir müssen neue Kohlenstoffquellen durch Recycling, Biobasiertes und die Verwendung von CO2 erschließen.“ Und wenn die fossilen Energiequellen in Zukunft nicht mehr genutzt würden, werde sehr viel mehr Strom benötigt.

Ziel sei es, eine Kreislaufwirtschaft, die auf nachwachsenden Rohstoffen und Abfall basiert, wie folgt zu etablieren: CO2-Ausstoß reduzieren, Energie, Wasser und Transport minimieren. Das müsse aber auch dazu führen, dass die Resilienz am Produkt in Deutschland und Europa gegeben ist.

Wie das gelingen kann, erläuterte im selben C4-Club Christian Schiller, Gründer von cirplus: „Die Digitalisierung ist in meinen Augen der Schlüssel schlechthin“, sagt Schiller. Ziel sei die digitale Verbindung eines dreiseitigen Marktplatzes vom Entsorger zum Recycler und Verarbeiter. Schiller: „Wir wollen mit unserer Software Ordnung ins Chaos der zirkulären Wertschöpfung bringen.“ Hierauf könne dann eine neue Plattformökonomie aufbauen.

Auch Max Fuhr, Chemiepark Bitterfeld, setzt auf diese Plattformökonomie: „Wie bekommen wir Kohlenstoff wieder in Chemiekreisläufe und wie könnten aus grünem Wasserstoff und noch zu identifizierenden Kohlenstoffquellen neue klassische Stoffströme entstehen?“

Nachdem in den letzten 150 Jahren in der Chemieindustrie und generell in allen Industrien Prozesse annähernd ausoptimiert wurden, die alles aus den fossilen Rohstoffen nutzten, sei es jetzt die Aufgabe, das gleiche in der Kreislaufwirtschaft zu tun.

Die **Kreislaufwirtschaft** ist somit die große ökonomische und gesellschaftliche Übereinkunft der Gegenwart. Der Kohlenstoffkreislauf wird uns aus dem mechanistischen Zeitalter in das nochmals komplexere Zeitalter digitaler Transformation begleiten.

Und die Ingenieure bleiben auch in diesem Strukturwandel „die geistigen Eltern technischer Systeme, mit deren Hilfe naturwissenschaftliche Erkenntnisse zum praktischen Nutzen der Menschheit angewendet werden“. Sie werden die Ingenieure der Kreisläufe oder besser der Spiralen sein, die in die Zukunft weisen.



## Epilog

Es ließen sich, neben der Entwicklung der Deponien zu Wertstofflagern, noch viele andere Beispiele anführen. Architektur und Bauwirtschaft sind relevante Themenfelder einer zirkulären Kohlenstoffökonomie.

Im Sachsen-Anhalt-Projekt des Neuen Europäischen Bauhauses arbeiten wir zusammen mit der Stiftung Bauhaus, mehreren Hochschulen und Fraunhofer-Instituten gerade daran, wie aus dem ZeKiWa-Gelände in Zeitz ein Reallabor des zirkulären Bauens werden kann. Da geht es auch um smart neighborhood-Prozesse, die uns heute hier in Jena noch beschäftigen werden.

Ein weiteres, derzeit wieder aktuell werdendes Thema ist das Carbon Capture and Usage CCU. Wir müssen da gar nicht an große Atmosphären-Staubsauger mit ihrem immensen Energiebedarf denken. Sehr viel greifbarer ist die Nutzung von Grünschnitt als Biokohle. Die Energieavantgarde Anhalt arbeitet gerade an einem solchen Beispiel eines neuartigen Pyrolyse-Verfahrens, das dezentral in den Kommunen eingesetzt werden kann.

Bodenverbesserungen und Wasserhaltung durch Biokohle werden angesichts der Klimafolgen relevante Anwendungsperspektiven bieten – und das CO<sub>2</sub> ist auf diesem Weg sehr langfristig gebunden, wir erkaufen uns Zeitvorteile im Klimawandel.

Und dann gibt es noch die durch den Kohleausstieg erst einmal gestörten Verwertungsketten: Hüttensande, die in der Zementindustrie verwertet werden, fallen nach dem Kohleausstieg nicht mehr an. Und von den zehn Millionen Tonnen Gips, die im Jahr 2020 in Deutschland laut Schätzung des Bundesverbandes Baustoffe – Steine und Erden e.V. (BBS) benötigt wurden, werden derzeit 55 Prozent mit REA-Gips gedeckt – Gips, der synthetisch aus der Rauchgasentschwefelung von Kohlekraftwerken gewonnen wird. Müssen also nach dem Kohleausstieg wieder alle Bedarfe aus Naturgips, der vor allem am Süd- und Westharzrand sowie in Süddeutschland abgebaut wird, gedeckt werden? Eigentlich unvorstellbar, denn diese Gipskarst-Landschaften sind von großer Bedeutung für den Naturschutz.

Es entstehen also Bedarfe an Ersatzstoffen, Märkte für neue Kohlenstoff-Verbindungen, die über die heute propagierte intensivere Nutzung des Baustoffes Holz weit hinausgehen werden.

Kohlebagger wie die auf Ferropolis oder Kraftwerke wie Zschornowitz werden so dauerhaft zu Symbolen einer abgeschlossenen Epoche. Sie können dennoch lebendige Orte bleiben, Orte des Austauschs, der Wissenschaft, der Experimente. Denn das Kohlezeitalter ist beendet, das Kohlenstoffzeitalter keineswegs.

Was aber auf keinen Fall Bestand haben wird, ist die Verbrennung, die thermische Verwertung von Kohlenstoffen, so sehr unsere Zivilisation auch vom Feuer geprägt ist.

Ich habe hier ein grobes Bild gezeichnet, mit dem dicken Bleistift gemalt. Das ist eigentlich nicht die Aufgabe der Ingenieure, die sehr viel differenzierter argumentieren sollten. Zumal in der Verantwortung für die Gestaltung der Transformation. Hoffentlich sind diese Überlegungen für Sie dennoch anregend. Viel Spaß bei weiteren Vorträgen und Diskussionen.