



DISPUTATIO

DIE ENERGIEWENDE 2.0:

IM FOKUS: DIE KARDINALE EFFEKTIVITÄT UND EFFIZIENZ.

06. Dezember 2018

13.30 Uhr – 16.00 Uhr

Rathaus Berlin-Tiergarten, BVV-Saal,
Mathilde-Jacob-Platz 1, 10551 Berlin

LEIBNIZ-SOZIETÄT DER WISSENSCHAFTEN ZU BERLIN E. V.

VEREIN BRANDENBURGISCHER INGENIEURE UND WIRTSCHAFTLER E. V.

Anfahrt mit öffentlichen Verkehrsmitteln:

- U-Bahn: U9, Station Turmstraße
- Buslinien: M27, 101, 123, 245

Anfahrt mit dem Auto:

Der Veranstaltungsort liegt in einer Parkraumbewirtschaftungszone.

Methodik:

In der *öffentlichen Podiums- und einer anschließenden Plenardiskussion* sollen der gegenwärtige Stand und maßgebliche Problemstrukturen der Energiewende in Deutschland hinsichtlich der *Effektivität und der Effizienz* inter- und transdisziplinär erörtert sowie entscheidende gesellschaftliche und spezifische Herausforderungen bei der - als ‚Gemeinschaftswerk‘ deklarierten und nur so erfolgversprechend wahrzunehmenden - *komplexen Transformation* des sozio-technischen, sozio-ökonomischen und sozio-kulturellen Systems (Energiewende 2.0) charakterisiert werden.

Während mit *Effizienz Nutzen-Aufwand-Quotienten*, wie Wirkungs-, Gütegrade, die Produktivität etc., bezeichnet sind, gebührt das Primat perfekter Maßnahmen der umfassenderen *Effektivität*, die per definitionem ein Maß für die Wirksamkeit des Denkens und nützlichen Handelns darstellt, und in dem Sinne das *Verhältnis von erreichtem Ziel zum definierten Ziel* – auch skaliert - erfasst.

Die als kardinal deklarierten zwei *Qualitätskriterien der Wirksamkeit*, werden einerseits in der Ebene des *hoch komplexen Gesamtprozesses* kritisch analysiert und andererseits anhand grundlegender und besonders wichtiger *konstituierender, kooperativer Teilprozesse*, deren Ziel-Mittel-Relationen, Maßnahmen und Ergebnisse sowie entscheidender, vordringlich zu bewältigender Entwicklungserfordernisse diskutiert. Den Schwerpunkt bilden der technisch-technologische, ökonomisch-ökologische sowie der soziale Bereich und deren gesellschaftliche „Gewichtung“- exponiert die Ziele Bezahlbarkeit und Versorgungssicherheit sowie deren Quantifizierung.

Fakten zur aktuellen Entwicklung:

„Das Wirtschaftsministerium ist seit fünf Jahren federführend für die Energiewende zuständig. In dieser Zeit hat der Rechnungshof *160 Milliarden Euro Aufwendungen* des Bundes und der Verbraucher für die Energiewende ermittelt. 2017 waren es 34 Milliarden Euro, davon 24 Milliarden für die EEG-Umlage, *die die Verbraucher über den Strompreis zahlen*, und gut drei Milliarden Euro aus dem Bundeshaushalt, etwa für Förderprogramme. Für Projekte und Institutionen. Weitere Ausgaben entstanden infolge verschiedener Umlagen auf den Strompreis“

Hinsichtlich des *gesamtgesellschaftlichen Transformationsprozesses* hat der Bundesrechnungshof mit Blick auf die Umsetzung der Energiewende erhebliche Defizite festgestellt: „Innerhalb der Bundesregierung hat das BMWi die Federführung und Gesamtkoordination der Energiewende übernommen. Der Bundesrechnungshof hat festgestellt, dass das BMWi diese Rolle bislang nicht ausgefüllt hat. Weder hausintern noch ressortübergreifend oder mit den Ländern hat ein koordinierter Austausch stattgefunden. Hinzu kommt, dass die Bundesregierung keinen Überblick über die finanziellen Auswirkungen der Energiewende hat. Fragen wie „Was kostet die Energiewende den Staat oder was sollte sie ihn kosten?“ sind nicht gestellt worden und unbeantwortet geblieben. Der Bund hatte auch keine konkrete Kenntnis darüber, was die einzelnen energiepolitischen Maßnahmen konkret bewirken und wie effizient sie sind “. (Bundesrechnungshof¹, Bonn 2018, S.12, 13)

¹ Bundesrechnungshof. Bericht an den Haushaltsausschuss des Deutschen Bundestages nach § 88 Abs. 2 BHO Information über die Entwicklung des Einzelplans 09 (Bundesministerium für Wirtschaft und Energie) für die Haushaltsberatungen 2018, Bonn, den 23. Mai 2018

Hinsichtlich des globalen *Klimawandels* bleiben die dringenden Korrektive weit hinter den selbst gesteckten Zielen, den internationalen Vereinbarungen, vor allem aber hinter den objektiven Notwendigkeiten zurück.

Dringend sind die Verminderung der Emission von Treibhausgasen, die Senkung des Energieverbrauchs, die Steigerung der Energieproduktivität und die signifikante Erhöhung des Anteils der Einkommensenergieträger im Verkehrssektor. Epochal ist eine Wende von wahrhaftig historischer Dimension. Die anthropogenen Einflüsse auf die, in ihren Ressourcen und Kapazitäten limitierte, komplexe Umwelt sind so gewachsen, dass wegen der Langzeitwirkungen schwerwiegender globaler Veränderungen vom geologischen Zeitalter des „*Anthropozäns*“ (Nobelpreisträger für Chemie Paul Crutzen, 2002) gesprochen wird, während die Klimapolitik noch immer sektiererisch vorgeht und unterdimensioniert bleibt.

Hinsichtlich der vernetzten *technisch-technologisch Aspekte* und des *Kanons der energiepolitischen Maßnahmen* der Energiewende 2.0, die innerhalb der Leibniz-Sozietät ausführlich erörtert und in zahlreichen Publikationen auf der Website dokumentiert wurde, ist primär anzumerken:

- Die *Effektivitätserhöhung* und *Effizienzsteigerung* bei der *Bereitstellung*, der *Wandlung*, dem *Transport* und dem *Einsatz von Energien* aus einem dynamischen Mix von Energieträgern in den Nutzerbereichen betrifft alle Sektoren: Industrie, Wohnen, Verkehr, Dienstleistungen (GHD) – und jede Energieart sowie die technischen und technologischen Entwicklungen der Energetik. Exponierte Herausforderungen ergeben sich gegenwärtig an die Speichertechnologien und die Strom-Netze definierter Spannungsstufen.
- Die *Energiewandlungskette* ist – gemessen am naturgesetzlich Möglichen – eine ungenügend ausgeschöpfte Quelle der *komplexen Energieeffizienz*.

Auf der Grundlage kurzer Stellungnahmen - unterstützt von einigen schriftlich verfassten, vorab publizierten und den Veranstaltungs-Teilnehmern ausgehändigten Thesen und Ausführungen der *Proponenten*, die im Diskurs zudem als *Opponenten* auftreten - wird die Debatte zunächst im Expertenkreis des Podiums und anschließend mit dem Auditorium geführt. Die Ergebnisse sollen als komprimiert resümierendes Meinungsbild publiziert, von persönlichen Stellungnahmen ergänzt und die Problemdiskussion auf der Website der Leibniz-Sozietät fortgeführt werden. (LGF)

Proponenten und Opponenten des Podiums:

Ulrich Busch (MLS), Mitglied des Präsidiums der Leibniz-Sozietät der Wissenschaften zu Berlin e.V.

Lutz-Günther Fleischer (MLS), Sekretar der Klasse Naturwissenschaften und Technikwissenschaften der Leibniz-Sozietät der Wissenschaften zu Berlin e.V.

Dr. Ernst-Peter Jeremias, tetra ingenieure GmbH, Neuruppin

Norbert Mertzsch (MLS), Vorsitzender, Verein Brandenburgischer Ingenieure und Wirtschaftler e. V.

THESEN

Energiewende in Deutschland: Effizienz und Effektivität im Kontext von Gesellschaftstransformation

Ulrich Busch (MLS)

1. Die Energiewende stellt ein komplexes Innovations- und Investitionsprogramm zum Umbau der Energieproduktion, -verteilung und -verwendung entsprechend den Kriterien der Nachhaltigkeit und des ökologischen Wirtschaftens dar. Als solche ist sie ein wichtiges Teilprojekt des ökologischen Umbaus der Wirtschaft und die positive Antwort der deutschen Politik auf den sich beschleunigt vollziehenden Klimawandel. Die Realisierung der Energiewende steht im Kontext mit Überlegungen zu einer umfassenden Gesellschaftstransformation. Insofern wirkt sie als „richtungsweisende und tiefgreifende evolutive Umgestaltung des gesamten Energiesystems“ und schließt „als Wirkungen zweifellos die gewollten sowie die nicht intendierten widerspruchsvollen bis fragwürdigen Folgen der Wandlungsprozesse für alle einbegriffenen gesellschaftlichen Bereiche und die individuelle Lebensqualität ein“.² Energiewende und Gesellschaftstransformation bilden mithin eine Einheit: Ohne gesellschaftlichen Wandel gelingt keine „richtige“ Energiewende, ohne diese aber gibt es auch keine „wirkliche“ Gesellschaftstransformation! Dies gilt national wie global. Da die Gesellschaftstransformation, verstanden als Übergang zu einer postindustriellen Produktionsweise und postkapitalistischen Gesellschaft, gegenwärtig aber erst in den Anfängen steckt und zudem durch eine Reihe von Umständen und Faktoren blockiert wird, ist die Energiewende zum jetzigen Zeitpunkt „weit mehr politische Intention und leitmotivisch kolportierte Idee, als [...] (ein) genügend klares, schlüssig strukturiertes und sachgerecht koordiniertes, handlungsstimulierendes, zukunftsfähiges“ und realisierbares Konzept.³ – Damit bleibt die Realität weit hinter der objektiv gegebenen Notwendigkeit strategischen Handelns zurück, woraus sich die Aktualität der energiepolitischen Debatten erklärt. In großen Teilen der Volkswirtschaft, so beim Verkehr, der Klimatisierung von Gebäuden, im Tourismus und bei der Abfallentsorgung, hat die Energiewende noch nicht einmal begonnen, geschweige denn, dass es hier Lösungen gäbe, die im globalen Maßstab ökologisch vertretbar und zukunftsfähig wären.
2. Im Zentrum der Energiewende stehen die Umstellung der Menschheit auf sog. erneuerbare Energien, die umweltkompatible Gestaltung von Stoffkreisläufen, die Substitution energieintensiver Produktions- und Konsumtionsformen durch energieeffizientere, die Einsparung und bessere Nutzung von Energie u.a.m. Damit stellt die Energiewende eine Jahrhundertherausforderung dar, ist sie als ein „in mehreren Dezennien zu bemessender gesamtgesellschaftlicher Umgestaltungsprozess und damit auch kultureller Umbruch zu

² Banse, Gerhard/Fleischer, Lutz-Günther: Die Energiewende – ein komplexer gesellschaftlicher Transformationsprozess mit konkurrierenden Zielen, Prozessen und Strategien, in: Banse/Fleischer (Hg.): Energiewende 2.0 im Fokus – Bewährtes, Problematisches, Notwendiges, Kontroverses. Abhandlungen der Leibniz-Sozietät der Wissenschaften, Bd. 47, Berlin 2018: trafo Wissenschaftsverlag, S. 19f.

³ Fleischer, Lutz-Günther: Im Fokus von Theorie und Praxis: Die Energiewende – ein komplexer gesellschaftlicher Transformationsprozess mit konkurrierenden Zielen, Prozessen sowie Strategien, in: Banse/Fleischer (Hg.): Energiewende. Produktivkraftentwicklung und Gesellschaftsvertrag. Abhandlungen der Leibniz-Sozietät der Wissenschaften, Bd. 31, Berlin 2014: trafo Wissenschaftsverlag, S. 27.

verstehen [...] und zu gestalten“.⁴ Ihre wahre gesellschaftliche Bedeutung erschließt sich aber erst, wenn sie als Teil des sozialökonomischen Umbaus, als Moment einer Gesellschaftstransformation, begriffen wird. Kern dieses Umbaus ist die Herausbildung eines neuen Verhältnisses des Menschen zur Natur. Grundlegende Prinzipien dafür sind: a) die Umweltkompatibilität von Industrie, Landwirtschaft, Infrastruktur, Mobilität, Siedlungsweise, Konsum und Lebensweise, b) der Erhalt funktionsfähiger Ökosysteme und c) die nachhaltige Nutzung und Reproduktion ökologischer Ressourcen.⁵ Es geht hier um einen prinzipiellen „Pfadwechsel“ der Menschheit bei der Sicherung ihrer Lebensgrundlagen und Reproduktion, wie er nur im Rahmen einer Gesellschaftstransformation vollzogen werden kann.⁶ Der sozial progressiv gestaltete ökologische Umbau, wozu die Energiewende gehört, könnte das Paradigma eines neuen Regimes ökonomischer Entwicklung und damit die Basis für die Gestaltung einer neuen Form der Zivilisation werden.

3. Eine wichtige Rolle bei der Umsetzung der o.g. Prinzipien und mithin bei der Realisierung der Energiewende spielen die *Effizienz* der Produktion, Speicherung, des Transports und der Verwendung von Energie sowie die *Effektivität* der Energienutzung. Beide Kategorien enthalten Steigerungsoptionen; es geht also jeweils um eine *Erhöhung* derselben im Vergleich zum gegenwärtigen Stand. Dabei erfasst die *Energieeffizienz* ein technisch wie ökonomisch bestimmtes Verhältnis von Nutzen und Aufwand, den Wirkungsgrad des Energieeinsatzes. Eine Steigerung wird hier vor allem über eine Aufwandssenkung erreicht. Ferner durch die rationelle Verwendung resp. Nutzung von Energie, wodurch sich der Nutzen erhöht. Demgegenüber ist der Begriff *Effektivität* weiter gefasst, indem er den Gesamtaufwand des Energieeinsatzes zu deren Zielen ins Verhältnis setzt. Da letztere gesellschaftlich bestimmt sind und neben quantifizierbaren Kriterien auch qualitative Aspekte wie Versorgungssicherheit, Nachhaltigkeit, Resilienz, Ästhetik, Diversität, Stabilität usw. implizieren, ferner politische Überlegungen, Fragen der Beschäftigung, des Arbeitsmarktes, der Sicherheit, der Regionalentwicklung usf., entzieht sich diese Kategorie einer ökonomistisch-technizistischen Auslegung. Zudem erweisen sich die qualitativen Aspekte der Zieldefinition als inkommensurabel mit den Aufwandskomponenten, welche stofflich und monetär erfassbar und damit eindeutig messbar und im Zeitverlauf vergleichbar sind, was nicht für alle Zielkomponenten gleichermaßen gilt.
4. Damit ist eine interessante Frage aufgeworfen, die Frage nach dem zulässigen, dem optimalen oder dem gerade noch zumutbaren „Preis“ für die Energiewende. Der Bundesrechnungshof rügte kürzlich das für die Energiewende zuständige BMWi wegen erheblicher Defizite bei der Organisation der Umsetzung energiepolitischer Maßnahmen.⁷ In diesem Zusammenhang wird erklärt, dass die Energiewende in den zurückliegenden fünf Jahren 160 Mrd. € an Aufwendungen gekostet hat, allein 2017 waren es 34 Mrd. €, wovon 24 Mrd. € als EEG-Umlage über den Strompreis auf die Verbraucher entfielen und gut drei Mrd. € auf den Bund, etwa für Förderprogramme. Dies scheint zunächst viel zu sein. Setzt man diese Größen aber zu den *gesellschaftlichen* Zielen der Energiewende ins Verhältnis, so ist es sehr wenig. Nämlich kaum 1,04% des BIP bzw. 1,0% des BNE (2017), 1,40% der

⁴ Banse, Gerhard/Fleischer, Lutz-Günther: Die Energiewende ..., a.a.O., S. 27f.

⁵ Vgl. Land, Rainer: Thesen zur Energiewende 2.0, in: Leibniz-Sozietät: Energiewende 2.0. Material zur Disputatio vom 12. April 2018, S. 26.

⁶ Vgl. Thomas, Michael: Der erfolgreiche Einstieg in die Energiewende und den sozialökologischen Umbau als Voraussetzung einer „Großen Transformation“, in: Banse/Fleischer: Energiewende 2.0, a.a.O., S. 127-148.

⁷ Bundesrechnungshof: Bericht an den Haushaltsausschuss des Deutschen Bundestages nach § 88 Abs. 2 BHO Information über die Entwicklung des Einzelplans 09 (BMWi) für die Haushaltsberatungen 2018, Bonn, 23.05. 2018.

privaten Konsumausgaben und 0,85% der Ausgaben des Bundes im laufenden Jahr.⁸ Angesichts der drohenden Klimakatastrophe ist es kaum nachvollziehbar, dass derart *verhältnismäßig geringe* Beträge politische Debatten über Preise und Kosten hervorrufen, eingeleitete Maßnahmen „gestreckt“ und die gesteckten Klimaschutzziele voraussichtlich nicht erreicht werden. Die zögerliche Haltung der Politik bei der Umsetzung der Energiewende aber hat nicht nur ökologische, sondern auch ökonomische Konsequenzen: „Denn je länger man wartet, desto teurer wird die Energiewende: Wenn notwendige Investitionen in erneuerbare Energien, in Elektromobilität und Klimaschutztechnologien verschoben werden, gefährdet dies Arbeitsplätze und die Wettbewerbsfähigkeit der deutschen Wirtschaft.“⁹ Statt den schwarzen Nullen im Budget Priorität beizumessen, wäre es längst angebracht gewesen, ein groß angelegtes *Investitionsprogramm* zur Energiewende aufzulegen und dieses über Kredite zu finanzieren. Die infolge derartiger Investitionen steigenden Staatsschulden sowie die daraus erwachsenden Kosten für den Schuldendienst wären kein zu hoher Preis für das Vorankommen bei der Energiewende. Zumal der deutsche Staat durch die Niedrigzinspolitik der EZB seit 2009 jährlich Milliarden an Zinsausgaben spart, allein 2017 rund 55,2 Mrd. €.¹⁰

5. Im Kontext mit der Energiewende ist das Problem konkurrierender Ziele und von Zielkonflikten zu diskutieren. So ist die Kohle eine ökonomisch kostengünstige Energieressource. Zudem sind Abbau und Verarbeitung regional wegen der daran gebundenen Arbeitsplätze von Bedeutung. Zugleich aber gefährdet die Kohleproduktion die Erreichung der Klimaziele mehr als jede andere Produktion. Der rasche Kohleausstieg wird somit zu einer Schlüsselfrage der Energiewende.¹¹ Was wir hier sehen und was gegenwärtig politisch ausgetragen wird, ist ein klassischer Zielkonflikt: Arbeitsplätze und billige Energie vs. Energiewende und Klimaschutz. Beides gleichzeitig ist nicht zu haben. Die Politik laviert und entscheidet sich gewöhnlich für Lösungen, die kurzfristig Vorteile versprechen, selbst dann, wenn langfristig Nachteile und hohe Kosten absehbar sind. Gesellschaftlich effektiv ist dies freilich nicht, politisch aber erscheint unter den gegenwärtigen Bedingungen kaum eine andere Lösung möglich. – So wird die Energiewende seit Jahrzehnten *politisch* ausgehebelt.
6. Sowohl zur Steigerung der Energieeffizienz als auch zur Erhöhung der Energieeffektivität tragen Maßnahmen bei, die der Reduktion des Energieverbrauchs in der Produktion und im Konsum dienen. So sieht die Planung des BMWi vor, bis 2020 den Primärenergieverbrauch gegenüber 2008 um 20% zu senken, bis 2050 sogar um 50%. Zugleich soll die *Energieproduktivität* jährlich um 1,1 bis 2,1% ansteigen.¹² Dies sind ambitionierte Ziele, die aber nicht darüber hinwegtäuschen dürfen, dass in vielen Bereichen trotzdem absolut *mehr* und nicht weniger Energie verbraucht werden wird. Neben absoluten Einsparungen und der Senkung des spezifischen Energieverbrauchs gibt es Substitutionseffekte, mögliche Synergien und Rückkopplungen u.a.m., die *in ihrer Gesamtheit* das angestrebte Ergebnis herbeiführen, nicht aber in allen Einzelbereichen, Unternehmen und Haushalten. Maßnahmen zur Einsparung von Energie sind *eine* Komponente der Energiewende, nicht aber ihr wichtigster Teil. Dieser ist in neuen Formen der Energiegewinnung und -nutzung

⁸ Man berücksichtige, dass beispielsweise bei den Militärausgaben der NATO eine Größenordnung von jeweils mindestens zwei Prozent des BIP der Mitgliedsstaaten angestrebt wird.

⁹ Kemfert, Claudia: Eine Koalition auf Kosten des Klimas, in: DIW-Wochenbericht Nr. 3/2018, S. 61.

¹⁰ Busch, Ulrich: Nullzins. Ein geldpolitisches Experiment mit Folgen, in: Berliner Debatte Initial, Heft 3/2018, S. 90-104.

¹¹ Kemfert, Claudia: „Die deutschen Klimaziele können nur durch einen beschleunigten Ausstieg aus der Kohle erreicht werden“, in: DIW-Wochenbericht Nr. 33/2018, S. 712.

¹² Bundesrechnungshof: Bericht ..., S. 7.

zu sehen, also in der Art und Weise der Energieproduktion. Es kommt nun darauf an, die Energiewende so zu gestalten, dass Energie in ausreichender Menge, zugleich aber ökologisch vertretbar, produziert und verwendet wird. Dem Übergang von fossilen Energieträgern zu sog. „erneuerbaren Energien“ kommt dabei zweifellos die Schlüsselrolle zu.

7. Die Energiewende tangiert nicht zuletzt die Diskussion um das Wirtschaftswachstum. Hier wird der Standpunkt vertreten, dass Wirtschaftswachstum „an sich“ kein wirtschaftspolitisches Ziel darstellt, es aber auch unter den Bedingungen der Energiewende notwendig und möglich ist.¹³ Ein Verzicht auf ökonomisches Wachstum, dieses verstanden als Wertschöpfung und Moment wirtschaftlicher Entwicklung, ist vielleicht eine Notmaßnahme, aber kein tragfähiges Konzept, um den Energieverbrauch zu reduzieren und so die Klimaziele zu erreichen. Vielmehr muss es darum gehen, Energie ökologisch und umweltkompatibel zu produzieren und zu nutzen und nichtökologische Formen der Energieproduktion und -nutzung sukzessive zu reduzieren. Nur so lassen sich Energiewende, Wachstum und Wohlstandsmehrung miteinander vereinbaren. Ausdruck dessen wäre eine steigende *Energieeffektivität*.
8. Der ungenügende Realisierungsfortschritt bei der Energiewende hat technologische, ökonomische und andere Ursachen. Ausschlaggebend dürfte aber die politische Entwicklung sein, die gegenwärtig nicht auf eine Gesellschaftstransformation abzielt, sondern eher auf eine konservativ-restaurierende Wende setzt. Die Energiewende ist mit einem Wechsel der Energieträger, dem Übergang zu sog. erneuerbaren Energien, aber auch mit einer Dezentralisierung der Energieproduktion sowie mit Einspar- und Substitutionseffekten verbunden. All dies führt zu enormen Um- und Entwertungsprozessen von Anlagekapital, zu Verteilungskämpfen und Machtverschiebungen in Wirtschaft und Gesellschaft. Indem sie transformatorische Tendenzen unterstützt, kollidiert sie aber auch mit bestehenden ökonomischen Verhältnissen, Strukturen, Interessen und Anreizsystemen und führt daher bei Energiekonzernen und Großunternehmen zu einer Blockadehaltung. Andererseits besitzen diese Unternehmen die materiellen, personellen und finanziellen Ressourcen für die Umsetzung der Energiewende. Ohne sie ist diese nicht zu realisieren. Es kommt daher darauf an, die Geschäftsmodelle der Konzerne den gewünschten Zielen anzupassen und die dem Staat zur Verfügung stehenden Instrumente der Wirtschaftslenkung so einzusetzen, dass dadurch die Energiewende ermöglicht und forciert wird.

¹³ Vgl. Busch, Ulrich: Wirtschaftswachstum und nachhaltige Entwicklung, in: Banse/Fleischer (Hg.): Energiewende. Produktivkraftentwicklung und Gesellschaftsvertrag, Abhandlungen der Leibniz-Sozietät der Wissenschaften, Bd. 31, Berlin 2014, S. 273-292 und Ders.: Wachstumsverzicht oder moderates Wachstum? Rosa-Luxemburg-Stiftung, Analysen, Berlin 2013.

Die Energiewende 2.0 darf nicht Kontingenz-Summe bleiben, sie muss zum effektiven und effizienten Integral werden

Lutz-Günther Fleischer (MLS)

1. In der hauptgutachterlichen Studie des Wissenschaftlichen Beirates der Bundesregierung ‚Globale Umweltveränderungen (WBGU) 2011‘, die *fundamentale gesellschaftliche Entwicklungsziele* setzt, wird die *Energiewende* faktisch als konstituierender Teil einer sogenannten *Großen Transformation* apostrophiert.

Es heißt:„...die *Durchsetzung der Industriegesellschaft* [war] ein evolutionärer Prozess, für den es keinen Masterplan gab. Die Transformation zur *nachhaltigen Gesellschaft* muss demgegenüber unter Zeitdruck bewusst gestaltet werden, um eine *Trendumkehr in Richtung einer klimaverträglichen und ressourceneffizienten Gesellschaft* zu schaffen.“ (Hervorhebungen der Verf.- LGF)

Und etwas weiter:„...das Narrativ, das Leitbild gesellschaftlicher Entwicklung (muss sich) radikal verändern. Es kann einerseits zwar *an Kernideen der Aufklärung anknüpfen*, wie die Aufforderung zu vernünftigem, verantwortlichem Handeln, das auch stets die Interessen anderer Menschen berücksichtigt. Andererseits müssen nun die *Grenzen des Erdsystems* als Ausgangspunkt gesellschaftlicher Entwicklung und von Wohlstandssteigerung *akzeptiert werden* (re-embedding), während das Hauptmotiv des Zeitalters der Industrialisierung darin bestand, sich von den Begrenzungen der Natur zu emanzipieren (dis-embedding). Dies ist kein Plädoyer für eine romantische Rückbesinnung auf die Natur und keine Absage an technologische Lösungen für die Zukunftsherausforderungen der Menschheit.“¹⁴

Insbesondere im Kontext mit dem konstituierenden *Prozesskomplex Energiewende 2.0* exponieren diese Forderungen die *sozial-ökologische Transformation* zugunsten der Menschen sowie der kompartimentierten, allerdings mannigfaltig wechselwirkenden, substrukturierten Reaktionsräume der Nah- und Umwelt

- Die anthropogene *Entropieproduktion* ($\dot{\Delta}_i S/dt = 1/T \cdot (\dot{\Delta} W_{\text{diss.}}/dt - \sum \mu_k \cdot \dot{d}_i m_k/dt)$) in der *Geosphäre* belastet deren reaktive, einander beeinflussende, zum Teil räumlich untrennbar verschnittene und verschränkte *Sub-Systeme*: die Atmosphäre, Pedosphäre, Hydrosphäre, Kryosphäre und Biosphäre mit *Irreversibilitäten* verschiedener Genesis. Sie sind Folgen *dissipativer Effekte* und *natürlicher Ausgleichsprozesse* Ohne bleibende Änderungen in der Systemumgebung, sind sie in der Zeit nicht umkehrbar. Naturgesetzlich erhöhen sich, zumindest tendenziell, die Temperatur der Areale und vergrößern sich die *Entropieströme* $\dot{\Delta}_e S/dt = \dot{\Delta} Q_{\text{rev.}}/dt + \sum s_k \cdot \dot{\Delta}_e m_k/dt$ - in der messbaren Form von Wärme- und Stoffkomponentenströmen (Vgl. *Entropie* im Glossar) Beide ($\dot{\Delta}_i S/dt + \dot{\Delta}_e S/dt = dS/dt$) überschreiten schon gegenwärtig die Grenzen einer unproblematischen Belastung hinsichtlich der *Regenerierbarkeit* und *Speicher-fähigkeit* bestimmter Kompartimente.

2. Hinsichtlich des charakterisierten *gesamtgesellschaftlichen Transformationsprozesses* hat der Bundesrechnungshof mit Blick auf die Umsetzung der Energiewende erhebliche Defizite und Vernachlässigungen festgestellt. Er konstatierte, dass das BMWi (Bundeswirtschaftsministerium) seine Rolle der Federführung und Gesamtkoordination der Energiewende bislang nicht ausgefüllt hat. „Weder hausintern noch ressortübergreifend oder mit den Ländern hat ein koordinierter Austausch stattgefunden. Hinzu kommt, dass die Bundesregierung keinen

¹⁴Welt im Wandel: Gesellschaftsvertrag für eine Große Transformation, Hauptgutachten 2011, S. 97, <http://www.wbgu.de>

Überblick über die finanziellen Auswirkungen der Energiewende hat. Fragen wie „*Was kostet die Energiewende den Staat oder was sollte sie ihn kosten?*“ sind nicht gestellt worden und *unbeantwortet geblieben*. Der Bund hatte auch *keine konkrete Kenntnis* darüber, *was die einzelnen energiepolitischen Maßnahmen konkret bewirken und wie effizient sie sind*“¹⁵ (Hervorhebungen der Verf.-LGF) Diese Analyse provoziert zudem die entscheidende Frage: „Lässt sich die Energiewende im Rahmen des heutigen Wirtschaftssystems überhaupt effizient umsetzen? Sind möglicherweise zu viele Einzelinteressen im Spiel, die das behindern?“ (Vgl. Thesen N. Mertzsch und These 5 U. Busch).

Das zitierte amtliche Verdikt begründet die Metapher der faktischen Kontingenz-Summe hinsichtlich der *Effektivität und Effizienz der Energiewende 2.0*.

Evident ist im Speziellen:

- Es mangelt dem „Gemeinschaftswerk“ an überzeugenderen *Wegleitungen* für (wesensgemäß zumindest partiell konkurrierende) Ziele, an effektiveren Maßnahmen für *gesamtgesellschaftlich abzustimmende Handlungskonzepte* und *Verlaufsformen*. In Anbetracht dieser Herausforderungen erwartet auch die Zivilgesellschaft ein grundsätzliches Umdenken in der Energiepolitik, die Abkehr vom nicht angemessen Bewerten der Umstände, Ergebnisse, Entwicklungen und Handlungen, von naiven und verschleiernenden Illusionen. Erwartet wird ein umfassendes Kompendium von Kriterien und Maßnahmen mit dem *leitmotivisch präzisierenden und verpflichtenden Attribut sozio-*, das sich von sozio-technisch über sozio-ökonomisch, sozio-ökologisch bis sozio-kulturell erstrecken muss, um die EW 2.0 zu einem effektiven und effizienten Integral zu formieren.
- Die verstärkte Nutzung erneuerbarer und sich erneuernder Energieträger basiert *anstelle rahmenregelnder Zielvorgaben* auf *ordnungspolitisch ordinierten*, damit, eingeeengten, *beinahe „punktuell“* programmierten technischen-technologischen Lösungen.
- Die *beim Strukturwandel*, für die *effizientere Ausgestaltung eines potenten Energiesystems* sowie im Interesse der Versorgungssicherheit notwendigerweise *zu lösenden, praktisch aber offenen, wissenschaftlich-technischen, ökologischen, ökonomischen, sozialen und sozio-kulturellen Probleme* überwiegen jene, für die unter verschiedenen *Erkenntnisperspektiven und Bewertungskriterien* bereits passable – obwohl nicht in jedem Fall auch wirtschaftliche und sozialverträgliche – Lösungen verfügbar sind. Ausschlaggebende Fortschritte – auf einer soliden physikalischen Basis – können jedoch nur von wohlwogenen und gezielt geförderten technisch-technologischen Innovationen mit positiven sozialen Implikationen erwartet werden.
- Eine Vielzahl wesentlicher *innovativer Gestaltungsmittel*, wie Trassen, befähigte und erweiterte Transportnetze in verschiedenen Spannungsstufen, leistungsfähige Speichersysteme und CO₂-Reduktions- bzw. CO₂-Verwertungstechnologien, existiert bisher allerdings nur als überwiegend prospektive Potenz. Die 2009 beschlossene Erweiterung der Verteilungsnetze um 2000 km ist bisher nur zu ca. 40% realisiert. Eine große Gruppe namhafter Wissenschaftlern einschlägiger Fachdisziplinen vertritt und belegt – auch in der Öffentlichkeit dokumentiert - mit wissenschaftlichen Argumenten die Meinung, dass bei entsprechenden realistischen Veranlassungen die Nord-Süd-Stromtrassen als zweite Stufe des Transportnetz-Ausbaus nicht zwingend geboten ist.
- Erhebliche *Disproportionen* werden bei der Nutzung und Förderung sachlich gebotener, sogar objektiv exponierter *dezentraler Entwicklungspotenzen* gegenüber den faktisch

¹⁵ Bundesrechnungshof. Bericht an den Haushaltsausschuss des Deutschen Bundestages nach § 88 Abs. 2 BHO Information über die Entwicklung des Einzelplans 09 (Bundesministerium für Wirtschaft und Energie) für die Haushaltsberatungen 2018, Bonn, den 23. Mai 2018, S.12, 13)

bevorzugten *zentralen* Realisierungsvarianten konstatiert. Noch weiter gefasst: Vorhandene sachdienliche Relationen zwischen dem Zentralistischen und dem Polyzentrischen werden unzureichend genutzt, geschweige denn zugunsten des sachgemäß akzentuierten Dezentralen bewusst aufgebaut. Die Energiewende ist gegenwärtig faktisch mehr ein schwach *adhärierendes Gemenge* von Vorhaben, Methoden und Maßnahmen, als ein *Ganzes* - ein *effektiver kooperativer Organismus* - zu ihrer innovativen Disposition und funktionssicheren Verwirklichung; *sie ist Summe und nicht Integral*.

- Erforderlich sind *dynamische Netzwerke*¹⁶ von *Kontroll- und Steuerungssystemen* sowie im Umgestaltungsprozess bewusst eingesetzte Elemente für die äquilibrierende Selbstorganisation und Selbstregulation, die die Evolution prägen und mit tragen.

3. Mit der Energiewende in Deutschland setzt die *Energiepolitik als essentieller Teil* einer zumindest deklarativ ‚*nachhaltigen Gesellschaftspolitik*‘, wenn auch im bisher unzureichend koordinierten Maße, auf einen *dynamischen Mix aus Primärenergieträgern: traditionellen Vermögens- und hoffnungstragenden Einkommensenergieträgern*¹⁷ (EEE, EE, RET's). Zunehmend wird es evident und begriffen, dass mit dem steigenden Anteil volatiler Energieträger an der Netzeinspeisung die *Netzstabilität* eine diffizilere Obliegenheit im Verbund-Netz darstellt, weil u.a. die Regelbarkeit, die Methoden sowie die intelligenten Mechanismen und die Häufigkeiten der steuernden und regelnden Eingriffe erheblich wachsende Herausforderungen und Risiken für die Versorgungssicherheit mit sich bringen.

- Allein energietechnisch, d.h. vor allem am sichtbaren *massiven Ausbau der Windenergetik und Photovoltaik* beurteilt, scheint die Energiewende ein Erfolg zu sein. Dies erweist sich jedoch als zwiespältige Singularität, und dieser Fortschritt generiert infolge einiger Disproportionierungen überdies neue Herausforderungen, für die ebenfalls keine richtungweisenden ‚Blaupausen‘ existieren.
- Aktuelle und *qualitätsgesicherte Daten* zur Entwicklung der Einkommensenergien in Deutschland sind ein wichtiger Indikator zur partiellen Bewertung der Energiewende. Die Arbeitsgruppe Erneuerbare Energien-Statistik (AGEE-Stat) stellt diese Daten bereit und arbeitet an der kontinuierlichen Weiterentwicklung einer soliden Datenbasis. Da sich der Anteil der EEE an der *unverantwortlich vernachlässigten effektiven Wärmebereitstellung* von 2013 bis 2017 (12.4 % - 12.9%) kaum veränderte und im *Verkehrssektor* bestenfalls *stagniert* (5.5% - 5.2%) - bei vergleichbaren Nutzungsmengen also praktisch nicht erhöht hat - sind die ca. *160 Milliarden Euro finanzieller Aufwendungen für die EW* im Zeitraum 2013 bis 2018 fast ausschließlich der *Stromerzeugung* anzulasten. Der Anteil der *Nettostromerzeugung* von Kraftwerken an der öffentlichen Stromerzeugung¹⁸ stieg von 2013 bis zum Update am 11. November

¹⁶ *Netzwerke* bilden in allen Ebenen komplexer System charakteristische essentielle Funktions- und Strukturelemente. Sie und ihre Relationen sind häufig Resultate der basalen Selbstorganisation bzw. der finalen Fremdorganisation.

¹⁷ Der empirische Begriff *Einkommensenergieträger* (EET, RET, EE) präzisiert unter dem Gesichtspunkt ihrer Genesis und spezieller Merkmale die universelle *Kategorie Energie* (Vgl. *Energie* im Glossar) Der Ausdruck veranschaulicht jene, *Energie enthaltenden und übertragenden Stoffe, Impulse, Strahlungen und Felder*, die in einem bestimmten Zeitintervall einem Bilanzraum zufließen oder/und in ihm transformiert werden. Nur in diesem Sinn sind sie erneuerbare bzw. sich selbst erneuernde Energien. Dem stehen hinsichtlich ihres Ursprungs und Charakters die *Vermögensenergieträger* – wesentlich enger mengenlimitierte, prinzipiell erschöpfbare natürliche Ressourcen - gegenüber.

¹⁸ *Nettostromerzeugung* von Kraftwerken zur öffentlichen Stromversorgung. Datenquelle: 50 Hertz, Amprion, Tennet, TransnetBW, Destatis, EEX, Update: 11 Nov 2018, 12:14 Uhr

2018 von 25.1 % auf 40.3%. In Medien (wie ‚Die Zeit‘) wird zeitgleich eine Steigerung der *Bruttostromerzeugung* auf ca. 38 % verlautbart. D. h. selbst mit der günstigeren Statistik wurde theoretisch *1% Steigerung des Anteils der EEE an der Bruttostromerzeugung direkt und indirekt mit einem Mittelaufwand von mehr als 15 Mrd. Euro erkaufte*. Zu beanstanden ist weniger der absolute finanzielle Aufwand, als vielmehr dessen Effizienz, die Rekrutierung des Finanzbedarfs (Vgl. These 4) und die damit verfehlte Verteilungsgerechtigkeit.

(Island, Paraguay und das afrikanische Lesotho erzeugen ihren Strom bereits heute ausschließlich aus Einkommensenergieträgern, Norwegen und Costa Rica stehen kurz vor diesem Ziel. Zahlreiche andere Länder weisen deutlich höhere Anteile der EEE an der Stromerzeugung aus als Deutschland. Das ist in den genannten Ländern allerdings besonders günstigen geographischen und/oder geologischen Bedingungen für die Nutzung von Wasserkraft und Geothermie zu verdanken, während in Deutschland die komplizierter zu transformierende Windenergie und die Solarenergie dominieren).

Wesentlich für die möglichst effektive - beachtliche Areale umnutzende und langfristig bindende - Fortsetzung der facettenreichen Energiewende, wird ihre Akzeptanz in der Bevölkerung sein. Nur wenige Politiker verlautbarten bis dato, dass mit der Energiewende auch ‚Landschaft industrialisiert wird‘. Zahlreiche immanente soziale Zielkonflikte verschärfen sich (Vgl. u. a. These 5 von U. Busch)

4. Innerhalb der Bundesregierung übernahm vor fünf Jahren das Wirtschaftsministerium (BMWi) die Federführung und Gesamtkoordination der Energiewende. „Allein auf nationaler Ebene regeln 26 Gesetze und 33 Verordnungen Erzeugung, Speicherung, Übertragung, Verteilung und Verbrauch von Energie“¹⁹. In dieser Zeit hat der Rechnungshof *160 Milliarden Euro Aufwendungen* des Bundes und der Verbraucher für die Energiewende ermittelt. Allein 2017 waren es 34 Milliarden Euro, davon 24 Milliarden für die EEG-Umlage, *die die Verbraucher über den Strompreis zahlen*. Laut Monitoring Bericht von Bundesnetzagentur und Bundeskartellamt verursachen in Form von Steuern und Abgaben *die staatlich veranlassten Preisbestandteile* ungefähr die Hälfte des Strompreises. 2017 hatten sie z.B. einen Anteil von rund 54 Prozent. Der Wettbewerbsanteil lag bei 21 Prozent, und rund 25 Prozent des Strompreises entfielen auf Netzentgelte (einschließlich Mess- und Abrechnungskosten). „Haushaltskunden mit einem Jahres-Stromverbrauch von 2.500 kWh bis 5.000 kWh zahlten 2017 einen durchschnittlichen Strompreis von insgesamt 29,86 Cent pro Kilowattstunde (kWh). Davon dienten lediglich 6,42 Cent/kWh der Strombeschaffung und seinem Vertrieb.

Die außergewöhnlich *hohen Kosten* sowie andere obligate *materielle und immaterielle gesellschaftliche Aufwendungen* für die Realisation der (komplementären und daneben alternativen) Entwicklungs- und Einwirkungsmöglichkeiten sind nur mit bezeichnenden Ungenauigkeiten kalkulierbar - und mit beträchtlichen Unschärfen prognostizierbar. Die derzeit nicht verursacher- bzw. nutzergerecht (und demgemäß sozial weiter disproportionierend) „auferlegten“ Kosten der Energiewende rücken immer stärker ins Zentrum der öffentlichen Wahrnehmung und Kritik. Sie belasten besonders Empfänger kleiner und mittlerer Einkommen und kleinere Betriebe. Es widerspricht bewährten und gut begründeten Zuordnungs-Prinzipien, wenn insbesondere Privathaushalte, das Gewerbe sowie die KMU über die EEG-Umlage überall - und im einkommensenergetisch aufkommens-starken Norden noch einmal verstärkt - für die nicht abgenommene Elektroenergie aus Windenergie und überdies für die zeitgleich in Kohlekraftwerken zur Sicherung der Liefervereinbarungen erzeugten Strommengen, die Kosten tragen müssen.

Generell besteht eine „*Kosten-Unwucht*“ mit mehreren Komponenten:

¹⁹ Bericht an den Haushaltsausschuss des Deutschen Bundestages vom 23.05.2018 GZ III 1-2018-0800

- die Gesamtkosten für die Energiewende werden zu einseitig dem Stromverbrauch auferlegt, Gas und Öl bleiben nahezu autark.
- die energieintensive Industrie Deutschlands wird nicht nur kaum zur Strom-Umlage herangezogen, sie profitiert überdies erheblich von den ‚maßgeschneiderten‘ Strompreisen und den handelsfähigen CO₂-Zertifikaten.

Mehrheitsmeinungen fordern begründet: Die *Energieversorgung müsse in Zukunft sozialmarktlicher gestaltet* werden, um die effektive Koordination ökonomischer Aktivitäten, die Versorgungssicherheit und die Wirtschaftlichkeit, aber auch die Sozial- und Umweltverträglichkeit der Energiewende 2.0 in derselben Weise zu gewährleisten.

Nach wie vor stellen bedeutende Teile der Bevölkerung in Frage, ob aus natürlichen Energieträgern derart niedriger Energiedichten, bei steigenden Anteilen der nicht permanent verfügbaren, volatilen und damit nicht einfach planbaren Einkommensenergieträger Sonne und Wind, die Stromversorgung in Deutschland langfristig überhaupt *sozialverträglich gesichert* werden kann.

5. Die ernst zu nehmende Philippika darf nicht als Negation des beurteilten sozioökonomischen und sozioökologischen Prozesses verstanden werden. Im Gegenteil: *Die Energiewende ist objektiv notwendig und unaufschiebbar.* Die einschneidenden Kritiken gilt es einzuordnen und konsequent in das Denken sowie in das gruppenspezifische und gesamtgesellschaftliche Handeln einzubeziehen. Das „Ob“ lässt sich im Grundsatz nicht bestreiten. Im berechtigten und konstruktiven Disput steht das *Wann, Wie, für Wen und ‚zu welchem Ende‘?* Herausgefordert sind der Gemeinsinn und der Gemeinwille. Als unverzichtbar erweisen sich Transparenz und Flexibilität - ein gesteuertes und rahmengeregeltes Gemeinschaftswerk, mit effektiv umgestaltenden Innovationen und Inventionen, Anpassungsfähigkeit und Kooperativität in den qualitätsbestimmenden Systemen und zwischen ihnen. Die bestmögliche Realisation muss sich an der Effektivitätssteigernden und zuverlässigen Organisation des Gesamtsystems messen. Es bleibt dabei:

Auf das Ganze kommt es an. Alle zukunftsweisenden Ziele und Mittel müssen - *am organischen Ganzen orientiert* - in den „Reallaboren der Energiewende XX.0“, stetig kontrolliert und kontinuierlich adaptiert werden.

Wesentliche Teilerfolge generieren eine ausbaufähige Basis. In einem Dezennium wurde in Deutschland der EE-Anteil am Stromverbrauch mehr als verdoppelt. Bis zum Jahr 2020 soll er auf 65% gesteigert werden. Die *Nettostromerzeugung* der Kraftwerke aus EE-Trägern erreichte 2018 bis zum 11. November 187,01 TWh (40.3%), bei sehr differenzierten Raten der einzelnen Einkommensenergien: 88,23 TWh (19%) sind *Windenergie* (sekundäre Solarenergie), 43,48 TWh (9.0%) resultieren aus der *primären Solarenergie*, 40,18 TWh (8.7%) aus *Biomasse* und 15,11 TWh (3%) aus *Wasserkraft*. Zum Vergleich: den größten Anteil der Vermögenenergie an der Nettostromproduktion hält die Braunkohle mit 114,88 TWh (25 %). Für das jüngste Jahrzehnt wird die Kostendegression der Photovoltaik mit 75% beziffert. Das Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme (ISE) hat ermittelt, dass Strom aus Solarparks der aktuellen Generation Kosten von durchschnittlich 3,71 Cent bis 11,54 Cent pro Kilowattstunde verursacht.

6. Die *Energiewende* in Deutschland – der tiefgreifende gesamtgesellschaftlich zu gestaltende, weil für alle Bereiche der Gesellschaft einschneidende, *komplexe Transformationsprozess unseres gesamten Gesellschaftssystems und ihres inhärenten Energiesystems* (siehe These 1) - ist mittelfristig zu bewältigen. Ihre Basis-Funktion liegt in der *bedarfsgerechten Bereitstellung, effizienten Wandlung, Übertragung, Speicherung und Verteilung sowie dem effektiven Einsatzes von (Gebrauchs)Energien der erforderlichen Art, Form und Menge.* Damit bildet die

Energetik die technisch-technologische Hauptkomponente der Energiewende. Ihren funktionell/strukturellen Kern formiert die *Elektroenergetik*. In ursächlichen Wechselwirkungen steht eine Vielfalt *optimiert zu erfüllender Kriterien* innerhalb des kompliziert verflochtenen Problemgefüges mit maßgebenden Qualitäts- und Richtungsindikatoren sowie ressourcen-, umwelt- und klimarelevanten Komponenten. Dazu gehören vornehmlich:

- die *konsequente, versorgungssichere und koordinierte Substitution* fossiler und nuklearer Primärenergieträger (*Vermögensenergieträger*) mit priorisierten *Einkommensenergieträgern* bei systemisch energetischer und gesamtgesellschaftlicher Ausrichtung.
- die *Effektivitätserhöhung* (Wirkungsvektor, Realisierungsgrad, Zielerreichungsgrad²⁰) und die *Effizienzsteigerungen* (Wirkungs- und Gütegrade) bei den *Energiewandlungen*, beim *Transport* bzw. der *Speicherung* und der *intelligent gekoppelten Nutzung* aller *Gebrauchsenergien* in den mannigfaltigen Anwendungsprozessen,
- die *optimierte Sektorkopplung* als ein wertvoller Faktor für die hocheffiziente Entfaltung des Gesamt-Systems. Es ist notwendig, dass der *Strommarkt* sowie der *Wärme-, Verkehrs- und Industriesektor* effektiver *interagieren*. Solche Strategien, wie „power to gas“ und „power to heat“ sind - ausschließlich mit der energetischen Metrik bewertet - verdammswert. Ihre Effektivität erschließt sich erst aus der übergeordneten Perspektive der systemischen Energetik.
- *nachhaltige Energieeinsparungen* (insbesondere, aber durchaus nicht nur, von Elektroenergie) in allen Sektoren und Nutzungsstrukturen sowie der umfassende und planmäßige, all dies bestmöglich tragende, *technologische Fortschritt auf der Basis innovativer wissenschaftlich-technischer Erkenntnisse*.
- *Technologien zur Energie-Speicherung und dem Energie-Transport*, als gezielter zu fördernde essentielle Elemente des *energetischen Funktions- und Sicherungssystems*. Sie bedürfen der integrativen Entwicklung sowie des effektiven Einsatzes qualifizierterer und innovativer Energietechnologien im Verbund mit der systemrelevanten Digitalisierung.
- die produkt- und prozessakzentuierten *Technologien in ihrer Dualität* von *handlungsorientierten*, hoch komplex organisierten, objektiv-realen *Prozesssystemen* (Sachsystemen) und damit interagierenden sowie typisch akkumulierenden, *erkenntnisorientierten* und *systematisierenden Wissens-Systemen* (Theoriensystemen). Folgerichtig partizipiert die Energiewende vom allseitigen technologischen Fortschritt. Weit mehr beansprucht die *Energiewende 2.0* jedoch spezifische technologische Entwicklungen, wie die Digitalisierung und die inhärente Vernetzung selbst virtueller Räume, die Speicher-, Transformations- und Übertragungstechnologien sowie die I&K-Technologien.
- die zuverlässige, klimaverträgliche Energieversorgung zu bezahlbaren Preisen und der effiziente Einsatz von Energie bilden eine wichtige Grundlage der deutschen Wirtschafts- und Energiepolitik.

Unter solchen Rubren sind ausdrücklich *wesentliche Erwartungen und entwicklungs-prägende Konzepte* sowie die seltenen Visionen einzuordnen. Das gilt gleichermaßen für die Energiewende 2.0 selbst, als auch für die dezidierten Forderungen sowie die Hoffnungen, die auf dem *Signum Industrie 4.0* und der *Digitalisierung* liegen. Sie betreffen das elektronische Erfassen, Speichern, Be- und Verarbeiten von Daten in Prozessen aller Art, die intelligente

²⁰ *Effektivität* ist ein Maß für Wirksamkeit, das das Verhältnis von *erreichtem Ziel zu definiertem Ziel* beschreibt. Es gibt Aufschluss darüber, wie nahe ein *erzieltes Ergebnis* dem *angestrebten Ergebnis* gekommen ist. ...
<http://de.wikipedia.org/wiki/Zielerreichungsgrad>.

Vernetzung der realen und virtuellen Welten etc. Diese simultanen Tendenzen überlagern sich mit und in der Energiewende. Die beiden potent gegliederten Prozesssystemen gegebene *Resilienz* baut auf den besonderen Fähigkeiten vernetzter Systeme zur Korrektur eigener Entwicklungspfade – ggf. bis zur Krisenbewältigung - aus kumulierter ‚Erfahrung‘ mit Rückgriffen vermittelt der Prozessfaktoren sowie interner und extern Ressourcen, wie der Immunität und Umwelteinflüssen z. B. gesellschaftlicher Einflussnahme. Die Umwelt operiert als sich entwickelndes komplexes Wirkgefüge, als oikos, differenziert in Ökologie und Ökonomie.

7. *Im Fokus der Ordnungspolitik* - und damit *im Spannungsfeld zwischen Markt und Staat* - drehen sich zahlreiche Einwände, um die *ökonomischen Konditionen und Perspektiven der Energiewende*. Unabdingbar sind auch in dem Zusammenhang die schlüssige Orientierung auf die Gesamtheit der Ziele des Transformationsprozesses, die Einbindung der nationalen Energiepolitik in den europäischen Rahmen und eine grundlegende Reform des Strommarktes. Beim kommerziellen nationalen Zugang zum Strommarkt ist der *Gleichbehandlungsgrundsatz* nicht erfüllt. Das benachteiligt kleine Unternehmen sowie Bürgerenergie-Gesellschaften und behindert einen entwicklungs-stimulierenden Wettbewerb.

Erhebliche Deformationen gefährden und retardieren den erwiesenermaßen *hochkomplexen gesellschaftlichen Transformationsprozess*.

Kritisch zu thematisieren ist, dass der *Strommarkt* nahezu total geregelt und deshalb unflexibel wird, während der energietechnisch und soziökonomisch ebenso gewichtige und damit effektivitätsbestimmende *Wärmemarkt* nahezu ungeregelt bleibt. Beide Extrema erweisen sich aktuell als erhebliche Nachteile für die Gesellschaft und für die Verbraucher, insbesondere die KMU, das Gewerbe und die Privathaushalte.

- Die qualitativ unbestritten herausragende *Erzeugung und rationelle Nutzung von Elektroenergie* ist wesensgemäß und in mannigfaltiger Weise: in prägenden naturgesetzlichen Kausalitäten und in der Vielfalt der (die komplexe Gesamtheit betreffenden) Gestaltungsmöglichkeiten (einschließlich der Sektorkopplung), mit anderen Energieanteilen(-arten) verflochten. Das sind insbesondere die *thermische, mechanische, chemische Energie* und die *elektromagnetische Strahlung* sowie leistungsstarke technische und technologische Prozesse und Systeme. Unter dem Signum der Energiewende ist demgemäß eine isolierte oder gar mechanistisch verabsolutierende Betrachtung und Behandlung der Elektroenergetik nicht ausreichend, u.U. sogar fehlorientierend.
- Die *Energiewende im Wärme- und Verkehrsbereich* sowie in Teilen der Landwirtschaft hinkt den Notwendigkeiten und den politisch verlautbarten Ansprüchen weit hinterher. Das ist ein wesentlicher Grund dafür, dass die Energiewende im Hinblick auf ihr charakteristisches *Kriterium Umweltverträglichkeit* im Sinne reduzierter CO₂-Emissionen²¹ sowie anderer „Treibhausgase“ mit wirkungsgleichen CO₂-Äquivalenten (CO₂-eq.) keine ausreichenden Resultate vorweisen kann²², mehr noch, erheblich hinter den *internationalen Vereinbarungen zu den Klimazielen* und den globalen Erfordernissen zurückbleibt.
- Neben dem Erfassen der energiewandlungsbedingt *direkten* CO₂-Emissionen, ist es unabdingbar, die, infolge der definierten Aktivitäten und der, in den Lebensstadien jener, in die Energetik implementierten Produkte²³ *indirekt* entstehenden CO₂-Emissionen in der

²¹ Originäre Kohlendioxid-Menge (bzw. CO₂-eq.) in Masseinheiten pro Zeiteinheit, Aktivität (Nutzeinheit) oder Akteur.

²² Der Beitrag der erneuerbaren Energien zum Klimaschutz umfasste im Jahr 2017 lediglich rund 179 Mio. Tonnen CO₂-Äquivalente.

²³ Eine lediglich deutschlandweit akzeptierte Definition für den *CO₂-Fußabdruck* von Produkten gibt das Memorandum 'Product Carbon Footprint' (PCF):

Gesamtmenge, möglichst ausnahmslos zu bilanzieren und zu reduzieren. Unter zielstrebigem Nutzung der (noch erheblich verbesserungsbedürftigen) *CO₂-Footprints* (Carbon Footprint) als maßgeblichem Prinzip ökologischer Bilanzen, sind zielorientierte Aussagen zu erlangen und wirksame Maßnahmen zu etablieren²⁴.

8. Große Erwartungen richten sich auf die Forschung. „Die Bundesregierung legt mit dem 7. *Energieforschungsprogramm „Innovationen für die Energiewende“* ihre *Leitlinien* für die *Energieforschungsförderung* der kommenden Jahre fest. Dabei verfolgt sie einen neuen strategischen Ansatz und richtet den *Fokus auf den Technologie- und Innovationstransfer*. In „Reallaboren der Energiewende“ sollen neue, vielversprechende Technologielösungen an den Markt herangeführt werden und sich den Herausforderungen der Praxis stellen. Erfahrungen, die daraus gewonnen werden, sind ein Kompass für das spätere Umsetzen im großen Maßstab. Dabei wird auch die bessere Teilhabe junger, kreativer Startups eine wichtige Rolle spielen. Gleichzeitig stärkt das neue Programm die *Technologie- und Innovationsförderung im Energiebereich* und ergänzt sie mit einer zusätzlichen Dimension zur gesamtgesellschaftlichen und systemischen Ausrichtung. So werden die großen, übergeordneten Trends im Energiebereich stärker in den Fokus genommen: Die Sektorkopplung beispielsweise ist entscheidend für die Entwicklung des Gesamtsystems. Auch die Digitalisierung spielt eine Schlüsselrolle bei der Modernisierung des Energiesystems. Schließlich strebt die Bundesregierung mit ihrem 7. *Energieforschungsprogramm* eine enge Vernetzung der Forschung auf internationaler und europäischer Ebene an. Denn *die Energiewende ist und bleibt eine globale Herausforderung*“²⁵. (Hervorhebungen der Verf.- LGF)

Literatur:

Fleischer, Lutz-Günther: Die „Wärmewende“ ein essentielles Element der Energiewende 2.0 Bewährtes, Problematisches, Notwendiges, Ambitioniertes, in: Banse/Fleischer (Hg.): *Energiewende 2.0 im Fokus – Bewährtes, Problematisches, Notwendiges, Kontroverses*. Abhandlungen der Leibniz-Sozietät der Wissenschaften, Bd. 47, Berlin 2018: trafo Wissenschaftsverlag, S. 95-127.

Thesen zur Energiewende 2.0 Im Fokus: Die kardinale Effektivität und Effizienz

*Dr.-Ing. Ernst-Peter Jeremias
tetra ingenieure GmbH*

Energie ist heute, mehr denn je, in allen gesellschaftlichen Bereichen unserer Industriegesellschaft unverzichtbar.

„Der *Product Carbon Footprint*“ bezeichnet die Bilanz der Treibhausgasemissionen entlang des gesamten Lebenszyklus eines Produkts in einer definierten Anwendung und bezogen auf eine definierte Nutzeinheit“ [BMU, UBA, Öko-Institut e.V. – Memorandum *Product Carbon Footprint*], www.bmu.de 4. März 2011]

²⁴ Werden beispielweise für die ökologische Bewertung der Elektromobilität die PCF der Batterien konsequent einbezogen, relativieren sich die positiven Aussagen.

²⁵ Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi),(Hrsg.): *Innovationen für die Energiewende*. 7. *Energieforschungsprogramm* der Bundesregierung,, September 2018, S.4

Die benötigten Energieformen sind dabei je nach Bedarf so vielfältig, wie die physikalische Palette sie bietet. Bei Energieträgern dominieren noch immer die Vermögensenergien, also fossile und endliche Energierohstoffe. Durch die Klima- und Energiepolitik der letzten Jahre vergrößert sich der Anteil der Einkommensenergien (umgangssprachlich sogenannte erneuerbare oder regenerative Energien) aber zunehmend.

Weltweit gibt es dabei einen sehr differenzierten Energiebedarf und in Folge auch Verbrauch.

Die entwickelten Industrienationen beanspruchen für sich heute den höchsten Verbrauch. Der weltweite Energieverbrauch hat heute Dimensionen erreicht, die

1. die negativen Auswirkungen auf das Klima durch die Freisetzung von klimaschädlichen Gasen und Wärmeabgabe in die Umwelt weiter verstärken.
2. eine zunehmende Verknappung der Vermögensenergien bei steigenden Förderkosten bewirken. Das wird auch nicht dadurch besser, dass heute immer noch neue Rohstoffvorkommen der Vermögensenergien erschlossen werden und so bisher unbeachtete Potenziale durch neue Fördertechnologien nutzbar gemacht werden.
3. die soziale Ungerechtigkeit in der Welt verschärft.
4. den Kampf um die Rohstoffe mit neokolonialistischen Strukturen intensiviert und mit den daraus resultierenden Risiken die weitere Existenz der menschlichen Gesellschaft durch kriegerische Auseinandersetzungen bedrohlich in Frage stellt.

Das weltweite Ringen um den notwendigen Wechsel in der Klima- und Energiepolitik offenbart sehr unterschiedliche nationale, politische, wirtschaftliche und soziale Interessenslagen, die nicht zu den Wirkungen führen, die klimapolitisch erforderlich wären.

In diesem Zusammenhang wird auf den IPCC-Sonderbericht vom 06. Oktober 2018 verwiesen. Der Bericht setzt sich mit den Folgen einer globalen Erwärmung um 1,5 Grad gegenüber dem vorindustriellen Niveau und den damit verbundenen globalen Treibhausemissionspfaden im Zusammenhang mit einer Stärkung der weltweiten Reaktion auf die Bedrohung durch Klimawandel, nachhaltiger Entwicklung und Bemühungen zur Beseitigung von Armut auseinander [1].

Ein aktuelles Erfordernis ist in jedem Fall die verstärkte Nutzung von Einkommensenergien.

Dem Prozess der Energieerzeugung und -verteilung muss der effiziente Umgang mit Energie in allen Umwandlungsstufen vorgelagert sein.

Uns steht mit den Einkommensenergien ein unerschöpfliches Potenzial zur Verfügung, das uns eigentlich im Energieverbrauch nicht einschränken sollte. Trotzdem sind die Themen Energieeinsparung und -effizienz in allen Bereichen als ein aktuelles Thema zu betrachten.

Das ist so, weil sich der Ausbau der Nutzung der Einkommensenergien als ein längerfristiger Prozess erwiesen hat. Technologieentwicklung und insbesondere der erforderliche Strukturwandel nachhaltiger energetischer Systeme sind erfahrungsgemäß nicht kurzfristig umsetzbar. Sie sind zudem nicht zum Nulltarif zu haben, im Gegenteil.

Das beweisen die derzeitigen, oft kontroversen Diskussionen im Zusammenhang insbesondere mit der volkswirtschaftlichen Nutzung von Wind- und Solarenergie in Deutschland. Die energetischen Erzeugeranlagen haben heute einen technischen Entwicklungsstand erreicht, der eine großtechnische Nutzung wirtschaftlich möglich macht. Dagegen ist die erforderliche Anpassung der Energieverteilungsstrukturen und der erforderlichen Speicherkapazitäten zurückgeblieben. Umsetzungshindernisse sind nicht nur die immensen Kosten dafür, sondern ganz wesentlich auch eine zunehmend fehlende Akzeptanz in der Bevölkerung. Die fehlende Akzeptanz wird maßgeblich durch die einseitige Umlage der Kosten der Energiewende auf die

Energieendverbraucher gefördert. Das Phänomen wird insbesondere bezüglich des weiteren Ausbaus der Windkraftnutzung beobachtet.

Solide energetische Planung heißt also heute, eine belastbare Energiebedarfsplanung der technisch-technologischen Umsetzung in der Erzeugung und Verteilung voranzustellen. Beim Energieverbrauch sind dabei also zunächst vorhandene Energieeinsparpotenziale zu identifizieren. Diese sind dann durch technisch-organisatorische Maßnahmen wirksam zu erschließen. Erst dann sind die Erzeuger-, Verteiler- und Speicherkapazitäten angemessen zu planen, zu finanzieren und zu errichten.

Die Unerschöpflichkeit der Einkommensenergien könnte die Schlussfolgerung implizieren, eine "Energiebereitstellung aus dem Vollen" anzustreben. Energetisch wäre das sogar möglich, volkswirtschaftlich ist es aber nicht sinnvoll, solange die notwendigen Technologien noch nicht ausgereift und vor allem kostengünstig verfügbar sind.

Kosten der Energiebereitstellung mittels Einkommensenergien basieren heute maßgeblich auf den Investitionen für die Erzeugung. Die kapitalgebundenen Kosten sind also hier dominant. Für die Nutzung von Vermögensenergien ist heute ein Stand erreicht, bei dem diese Kosten deutlich niedriger sind, als die Kapitalkosten bei der Nutzung der Einkommensenergien. Praktisch kann man das heute sehr eindrucksvoll in einem Vergleich des Einsatzes von Erdgas oder der Heizölbefeuerten Heizkesseln im Vergleich zur Umweltwärme nutzenden Wärmepumpentechnik verdeutlichen.

Die zentrale Wärmeversorgung ist eine effiziente und energiesparende Technologie für die kostengünstige Nutzung der Einkommensenergien [2].

Das bedeutet aber nicht unbedingt, dass die heute verfügbaren Technologien an sich zu teuer sind. Es ist oft im Interesse der Wirtschaft, traditionelle, marktgängige Produkte möglichst lange profitwirksam im Markt zu halten. Preisgünstige Massenproduktion von innovativen, umweltfreundlichen und damit nachhaltigen Produkten wird somit über kapitalistische Marktgesetze verhindert. Der hohe Preis umweltfreundlicher Produkte verhindert die breite Einführung und Nutzung; eine regelmäßig zu beobachtende Marketingstrategie der Industrie. Nachweisen kann man das sehr konkret im Bereich der energetischen Gebäudesanierung genauso wie im Bereich der Mobilität. Politik folgt in der Regel den Interessen des Kapitals. Problematisch ist diese Praxis dadurch, dass ihr dabei das "grüne Mäntelchen" umgehängt wird.

Ein weiterer Aspekt ist, dass die Kosten fossiler Energieträger in Deutschland m. E. zu gering sind, weil die externen Folgekosten ihres Einsatzes solidarisch von der gesamten Gesellschaft zu tragen sind. Oder anders gesagt, die Bilanzkreisgrenze für Wirtschaftlichkeits-betrachtungen des Energiesystems sind objektbezogen. Notwendig aber ist, sie volkswirtschaftlich bezogen zu betrachten, also externe Folgekosten dem Verursacher zuzuschlagen.

Der vorliegende Referentenentwurf des neuen Gebäudeenergiegesetzes (GEG), mit dem eine Harmonisierung zum EU-Recht stattfinden soll, torpediert in der vorliegenden Fassung die Umsetzung des Niedrigstenergiestandards im Neubau und weicht sogar die bestehenden energetischen Anforderungen an Gebäude auf [3].

Die Energiepolitik der Bundesregierung ist „Flickwerk“. Es wird kein Gesamtkonzept verfolgt, die Wirkungen der Maßnahmen sind mäßig, nicht dem Einsatz der verwendeten Steuermittel adäquat. Eine vernichtende Einschätzung hat dazu der Bundesrechnungshof in seinem Bericht an den Deutschen Bundestag vom 23.05.2018 vorgelegt [4].

„Allein auf nationaler Ebene regeln 26 Gesetze und 33 Verordnungen Erzeugung, Speicherung, Übertragung, Verteilung und Verbrauch von Energie“. Es gebe allerdings „keine Stelle, an der

alles zusammenläuft, keine Stelle, die Gesamtverantwortung übernimmt“, kritisiert der Bundesrechnungshof.

Einen Vorschlag, wie die Situation zu ändern wäre, macht die unabhängige Institution auch: Eine CO₂-Bepreisung wäre eine einfache und transparente Alternative.

Im Wohnungsbau führt eine falsche politische Reglementierung heute zu hohen Baupreisen, mit oft mäßigen Einspar- und Effizienzeffekten bei Gebäuden.

Selbst vor zumindest zweifelhaften Praktiken schreckt die Industrie in bestimmten Segmenten zum Erhalt der bisherigen Marktstrategie nicht ab, und überdies bezahlt schließlich noch der Verbraucher die Zeche. Die Politik ist dieser Entwicklung offensichtlich hilflos ausgeliefert und die Verwunderung über die zunehmende Politikverdrossenheit ist groß.

Fazit meiner Gedanken zur deutschen Klimapolitik:

1. Die weltweit anerkannten Klimaziele müssen zwingend und schnellstens umgesetzt werden. Um die Schere zwischen Arm und Reich zu schließen, müssen die neokolonialistischen Strukturen aufgehoben werden.
2. Für nationale Umsetzung sind wirklich funktionierende politische Rahmenbedingungen zu setzen, die sich nicht ausschließlich an kurzfristigen Profitinteressen der großen Wirtschaftsunternehmen und Konzerne orientieren.
3. Einkommensenergien sind grundsätzlich arbeitspreisneutral verfügbar. Trotzdem sind die Endenergiekosten auf Grund der derzeit (noch) deutlich höheren Kapitalkosten bei der notwendigen Investition in neue Technologien und Strukturen heute in der Regel höher, als bei der Verwendung von Vermögensenergien. Dieser Umstand ist ein akutes Umsetzungshindernis bei der Senkung von CO₂-Emissionen und bei der Verringerung des Wärmeeintrags in unsere Umwelt.
4. Die Energiewende in der Mobilität ist eine dringende, aktuelle Aufgabe, die nicht nur damit gelöst wird, dass unter einem sich aufbauenden Wettbewerbsdruck neue Fahrzeugtechnologien in den Markt eingeführt werden. Dringender ist die vorausschauende Einführung völlig neuer Mobilitätskonzepte in Verbindung mit den zukünftig erforderlichen Infrastrukturen und der Digitalisierung der Prozesse.
5. Die Zusammenhänge sind komplex, bieten aber in allen Richtungen Chancen und Risiken. Umso wichtiger sind überschaubare, aber komplex wirkende Steuerungsmechanismen erforderlich.
6. Energieeinsparung bei Gebäuden, technischen Anlagen und in der Mobilität ist aus meiner Sicht eine wichtige Brückentechnologie bis zur Bereitstellung umweltfreundlicher, preiswerter und damit sozialverträglicher Endenergie auf der Basis von arbeitspreisneutraler Einkommensenergie. Dieser Strategieansatz ist bei richtigen politischen Rahmenbedingungen schneller und effektvoller umsetzbar, als die Einführung neuer Energieerzeugungs- und -bereitstellungstechnologien, inclusive Speicher.

Quellennachweis:

[1] IPCC-Sonderbericht über 1,5 °C globale Erderwärmung vom 06. Oktober 2018

[2] Becker; Jeremias; Nachhaltigkeitsaspekte einer zukunftssicheren Energieversorgung von Städten und Gemeinden - Vortrag auf dem VII. AT-Symposium der Leibniz-Sozietät zu Berlin am 12.05.2016 - Sitzungsberichte Leibniz-Sozietät der Wissenschaften - Band 130 - Jahrgang 2017

[3] Menz; Absage an den klimaneutralen Gebäudebestand? EnergieKOMPAKT 05/2018

[4] Bericht an den Haushaltsausschuss des Deutschen Bundestages vom 23.05.2018 GZ III 1-2018-0800

Thesen zur Energiewende 2.0

Im Fokus die kardinale Effektivität und Effizienz.

Dr. rer. nat. N. Mertzsch (MLS /VBIW e.V.)

Die Betrachtung der Effektivität und Effizienz der Energiewende muss alle Maßnahmen im Rahmen der Energieerzeugung und des Energieverbrauchs umfassen. Entscheidend dabei ist, dass die Bilanzrahmen so gewählt werden, dass alle Maßnahmen umfassend abbildet werden und nicht durch willkürliche Einengungen verzerrt werden.

Bei Betrachtung der Effektivität der bisherigen Umsetzung der Energiewende kommt der Bundesrechnungshof zu einer vernichtenden Einschätzung (Bundesrechnungshof²⁶, Bonn 2018, S.12, 13).

Diese Analyse provoziert die entscheidende Frage: Lässt sich die Energiewende im Rahmen des heutigen Wirtschaftssystems überhaupt effizient umsetzen? Sind möglicherweise zu viele Einzelinteressen im Spiel, die das behindern? Wenn man das weiterführt, müssen auch die Fragen diskutiert werden ob Wirtschaftswachstum ohne Ende im Rahmen der Energiewende funktioniert? Die Entkopplung von Wirtschaftswachstum und Energieverbrauch ist nach einer Studie des Deutschen Instituts für Wirtschaftsforschung (DIW) ²⁷ zwar möglich, doch ob wirklich ein Wendepunkt erreicht ist bleibt abzuwarten. Auch die Frage ob ein relativ kleines Land wie Deutschland einen so hohen Exportüberschuss haben muss, oder regionale Wirtschaftskreisläufe vor Ort günstiger wären, ist zu stellen.

Entscheidend für eine möglichst effektive Weiterführung der Energiewende wird aber auch die Akzeptanz in der Bevölkerung sein. Bisher wurde von zu wenigen Politikern kommuniziert, dass im Rahmen der Energiewende eine Industrialisierung der Landschaft erfolgen wird. Dadurch wird es viel mehr Betroffene geben, als bei der bisherigen Energieerzeugung. Da die Mitnahme der Betroffenen vielfach versäumt wurde, stößt die Energiewende vor Ort teilweise auf große Ablehnung. Andererseits sollten sich alle Beteiligten klar darüber sein, dass der Strom auch irgendwie in die Steckdose kommen muss.

Bisher nicht gelöst sind auch viele soziale Fragen, die sich aus der Art der Durchführung der Energiewende ergeben. So treffen die Kosten der Energiewende besonders Bezieher kleiner und mittlerer Einkommen und kleinere Betriebe.

Der kardinale Fehler der Energiewende liegt darin, dass bisher nicht die Ziele der Energieeffizienz im Zentrum der Betrachtungen stehen, sondern die Bereitstellung von Nutzenergie. Erst wenn man die Ziele der Energieeffizienz in den Blickpunkt rückt und kommuniziert, kann man in den einzelnen Bereichen von Energieerzeugung sinnvoll Zielvorgaben umsetzen. Dabei dürfen Interessen von Lobbyorganisationen keine Rolle spielen.

Energieeffizienz in Gebäuden und bei der Energienutzung

- Entsprechend der gesetzlichen Regelungen ist die Energieeffizienz von Gebäuden bei Sanierungsmaßnahmen zu verbessern. Vorrangig werden dafür

²⁶ Bundesrechnungshof. Bericht an den Haushaltsausschuss des Deutschen Bundestages nach § 88 Abs. 2 BHO Information über die Entwicklung des Einzelplans 09 (Bundesministerium für Wirtschaft und Energie) für die Haushaltsberatungen 2018, Bonn, den 23. Mai 2018

²⁷ <https://start-green.net/aktuelles/nachrichten/entkopplung-von-energieverbrauch-und-wachstum-ist-moglich/>

Wärmedämmmaßnahmen genutzt. Wärmedämmstoffe werden überwiegend aus Erdölprodukten hergestellt, vielfach mit späteren Entsorgungsproblemen. Ggf. sollten anorganische Wärmedämmstoffe bzw. Vakuumelemente bevorzugt werden. Wegen der längeren Haltbarkeit dieser Produkte muss der Bilanzrahmen angepasst werden.

- Die Kosten von Wärmedämmmaßnahmen sind hoch und nicht jeder bisherige Mieter wird sich diese leisten können. Die Energiewende in diesem Bereich ist also auch ein soziales Problem. Hinzu kommen Akzeptanzprobleme für umgesetzten Maßnahmen.
- Die möglichen Auswirkungen von Wärmedämmmaßnahmen auf das Stadtbild. sind nicht zu unterschätzen. Deshalb sind solche Maßnahme in ein Gesamtkonzept für die energetische Stadterneuerung einzubetten. Bei einem solchen Gesamtkonzept sind dann auch Maßnahmen zum Denkmalschutz mit zu koordinieren, damit unsere Städte ihr Gesicht nicht verlieren.
- Für die Erhöhung der Effizienz im Bereich Elektroenergieverbrauch giebt insbesondere im Industriebereich noch viele Möglichkeiten. So z.B. alle Technologien in denen Antriebe verwendet werden, z.B. Druckluftsysteme, Pumpen oder Förderanlagen.

Im Haushalt betrifft das den Einsatz effizienter Geräte, wie Kühlschränke oder Waschmaschinen, aber auch die effiziente Nutzung von Elektrokochern und Herden bzw. den Verzicht auf den Stand-by von Geräten.

- Problematisch für die Verbesserung der Effizienz elektrischer Geräte könnte deren zunehmende Vernetzung werden, da zu erwarten ist, dass dadurch viele Geräte eben nicht mehr vollständig ausgeschaltet werden um die positiven Effekte der Vernetzung nutzen zu können, sondern im Stand-by-Betrieb verbleiben werden. Hinzu kommt, dass erwartet wird, dass digitale Technologien zum Energieverbrauch wesentlich mehr betragen werden als bisher.
- Im Bereich der Beleuchtung ist neben dem Einsatz von LED-Leuchten als weiterer Ansatz zum Sparen von Elektroenergie die Regelung des Beleuchtungseinsatzes, die Beleuchtung nur dann mit voller Leistung in Betrieb ist, wenn sie benötigt wird. Ansonsten wird die Lichtstärke gedimmt oder die Beleuchtung ausgeschaltet.

Effizienz der Bereitstellung von Elektroenergie

- Für die Ablösung der bisherigen Kraftwerke zur Elektroenergiebereitstellung auf Basis fossiler Brennstoffe und Kernenergie werden Windkraft- und Solaranlagen favorisiert.
- Der bisher fehlende Netzausbau und das Fehlen von großen Stromspeichern macht vielfach bei hohem Windangebot die Abschaltung von Windkraftanlagen notwendig. Das verteuert zum einen die Elektroenergie, zum Anderen sinkt die Akzeptanz der Windenergie und da konventionelle Kraftwerke nicht mehr im optimalen Bereich gefahren werden können steigt deren Kohlenstoffdioxidausstoß pro produzierter Kilowattstunde. Kohlenstoffdioxideffizientere, aber teurer produzierende Gaskraftwerke sind völlig aus dem Markt gedrängt. Dass diese Situation eingetreten ist, ist als Politikversagen zu werten! Hier ist die Politik gefordert.
- Die Produktion von Bioenergie, insbesondere Biogas, stößt infolge des Klimawandels an ihre Grenzen. Die letzten Sommer zeigen, dass die bisherigen landwirtschaftlichen Erträge durch Wetterextreme, entweder zu viel Regen, oder langanhaltende Trockenheit, nicht mehr gesichert sind. Vorrang muss deshalb der Versorgung mit qualitativ hochwertigen Nahrungsmitteln (höherer Flächenverbrauch wegen klimatischer Unwägbarkeiten) eingeräumt werden. Da in sehr trocknen Sommern auch der Holzzuwachs stark eingeschränkt ist, ist auch im Bereich der Holzheizungen zukünftig mit Versorgungsengpässen zu rechnen.

- Im Rahmen der Energiewende wird davon ausgegangen, dass auch die Bereiche Wärmeversorgung und Verkehr "elektrifiziert" werden (Sektorkopplung). Das bedeutet, dass für die notwendige Gewinnung der Elektroenergie eine deutlich stärkere Industrialisierung der Landschaft als bisher erfolgen muss. Daraus resultieren weitergehende Probleme der Akzeptanz der Energiewende.
- Der Einsatz von Einkommensenergien ist im Kontext zu Maßnahmen und Kosten der Energieeinsparung bewerten.
- Unter dem Aspekt der Versorgungssicherheit ist zu klären, wie groß der Umfang der Energiespeicher zukünftig zu wählen ist (neben wetterbedingten Speichern auch Speicher zur Absicherung bei Naturkatastrophen - Stichwort Jahr ohne Sommer?). Das wird erhebliche Auswirkungen auf die Kosten der Elektroenergie haben. Gegebenenfalls wird man entscheiden müssen, dass die Elektroenergieversorgung zu vertretbaren Preisen nicht immer gewährleistet werden kann und längerfristige "blackouts" mit entsprechenden Auswirkungen in Ausnahmesituationen in Kauf genommen werden müssen. Auch über diese Probleme hätte die Ethikkommission, die zum Atomausstieg eingesetzt war, aus meiner Sicht eigentlich kommunizieren müssen.

Bereitstellung von Wärme in Gebäuden

- Zur Wärmeversorgung sind zunehmend arbeitspreisneutrale Energieträger (Einkommensenergie) zu nutzen, vorrangig in Verbindung mit Wärmespeichern. Unter diesem Aspekt ist dann die Wirtschaftlichkeit von Wärmedämmmaßnahmen neu zu bewerten. Gesetzliche Regelungen sollten dann zeitnah angepasst werden.
- Die Nutzung von Abwärme von industriellen/gewerblichen Prozessen ist für die Wärmeversorgung verstärkt zu nutzen. Dadurch werden auch die genannten Prozesse energieeffizienter. Das wird aber nur sinnvoll umzusetzen sein, wenn sichergestellt ist, dass die betreffenden Anlagen langfristig zur Verfügung stehen.

Verkehr

- Die Energiewende hat im Verkehrsbereich bisher keine Spuren hinterlassen. Von einer wirklichen Verkehrswende ist nicht zu sprechen.
- Nötig ist eine Verkehrswende, die ihrem Namen gerecht wird, d.h. dahin zu kommen, dass der Verkehr abnimmt und der verbleibende Verkehr kohlendioxidneutral wird. Nach bestehenden Prognosen wird der Verkehr jedoch weiter zunehmen.
- Es sind alle Möglichkeiten zur Vermeidung von Verkehr zu nutzen. Dazu zählen neben der Schaffung regionaler Wirtschaftskreisläufe auch Maßnahmen der Siedlungspolitik um Wohnen, Einkaufen und Arbeiten mit möglichst wenig bzw. möglichst effizientem Verkehr zu ermöglichen.
- Das einfachste Mittel im Bereich Straßenverkehr Energieeinsparungen umzusetzen, ein Tempolimit auf Autobahnen, wird von der Bundesregierung nicht einmal in Betracht gezogen. Wenn an der Stelle schon Lobbyinteressen siegen, braucht man sich über die mangelnde Effektivität der Umsetzung der Energiewende in anderen Bereichen nicht wundern.
- Unabhängig von den Verkehrsprognosen müssen alle Maßnahmen zur Stärkung des öffentlichen Personenverkehrs und zur Verlagerung von Güterverkehr von der Straße auf die Schiene ergriffen werden. Gerade in Randgebieten wurde der Schienenverkehr in den letzten Jahren leider zurückgefahren.
- Als Teilbereich der Energiewende im Verkehr ist der Übergang zur Elektromobilität zu betrachten. Was hier an Fahrzeugen teilweise angeboten wird, zeigt, dass in den

Automobilkonzernen kaum ein Umdenken erfolgt ist. Wenn man bedenkt, dass heute bereits das autonome Fahren im Zentrum vieler Überlegungen steht, sollte sich die Automobilindustrie überlegen in welche Richtung die Entwicklung geht. Ich glaube kaum, dass die Versicherungswirtschaft vom Grundsatz der Richtgeschwindigkeit von 130 km/h abgehen wird. Denn wer haftet bei autonomen Fahrzeugen darüber hinaus? Außerdem sollte auch bei Elektroautos die Effizienz oberste Priorität haben.

Vielleicht kann die Energiewende auch nur gelingen, wenn die Gedanken von Alfred Andersch aus seinem Reisebild „Die Reise zu den Sieben Inseln“²⁸: „... der große Gedanke der Askese ist noch nicht gedacht. Als unvorstellbar gilt, der Mensch könne sich aus freiem Entschluss zurückziehen. Grenzen sind dazu da, überschritten zu werden: Dies gilt als Lehrsatz und als Schicksal, am unerbittlichsten bei denen die von Freiheit sprechen; den furchtbaren Widerspruch zu ihr, der in einem Zwang zum Überschreiten steckt, bemerken sie nicht. Freiheit wäre da, wo wir an einer Grenze sagten: Es ist genug. Es reicht uns.“

²⁸ Andersch, Alfred; Aus einem römischen Winter und andere Reisebilder; Aufbauverlag Berlin und Weimar 1979; S. 81

Glossar²⁹

Energie (*altgr. ἐν ἔργον - innen wirken; ἐνέργεια – Wirksamkeit [Aristoteles]*):

fundamentale physikalische Kategorie, extensive (mengenabhängige) physikalische Größe, *allgemeiner Oberbegriff (Abstraktum)*, beschreibt phänomenologisch alle Eigenschaften von Zuständen und Prozessen, die einer ARBEIT äquivalent sind, d.h. mit ihr identisch, zu ihr gleichwertig, proportional oder auf sie rückführbar und so physikalisch messbar [6]

Energieträger:

phänomenologische Realitäten, messbare makrophysikalische Konkreta, die Energie (überdies Informationen) *enthalten und/oder übertragen: Stoffe, Bewegungsgrößen, Felder* tensorieller Größen verschiedener Stufen und *Strahlung* (Welle-Teilchen-Dualismus)

Als (additive) *Energieanteile* $[\Gamma_j \cdot P_j]$ sind die Teilenergien j *wegunabhängige Zustandsgrößen* und als *Energieformen* $\Gamma_j dP_j$ bzw. $\Gamma_j (dP_j/dt)$ – *Energiemengen* (wie Arbeiten, Wärme[mengen] und stoffgebundene Energiemengen) bzw. *Energieströme* (wie [masselose] Wärmeströme, mechanische, elektrische Leistungen, stoffgebunden Energieströme) *wegabhängige Prozessgrößen*, also technisch-technologisch über den gewählten Weg der Veränderung beeinflussbar.

Fundamentale Relationen:

Gesamtenergie: $E_{\text{ges.}} = U + E_{\text{kin.}} = \text{const.}$	(1) <i>Erhaltungssatz-Axiom</i>
Innere Energie: $U = \sum \Gamma_j \cdot P_j = T \cdot S + \sum L_i \cdot l_i + \sum \mu_k \cdot m_k$	(2) <i>generalisierte Euler-Gleichung-Potential</i>
Potentialänderung: $dU = \sum \Gamma_j \cdot dP_j = T \cdot dS + \sum L_i \cdot dl_i + \sum \mu_k \cdot dm_k$	(3) <i>differentielle Fundamentalgleichung</i>
Gleichgewichtsbedingung: $\sum P_j \cdot d\Gamma_j = 0$	(4) <i>generalisierte Gibbs-Duhem-Gleichung</i>
Erster Hauptsatz: $dU = \overset{\text{d}Q_{\text{rev.}}}{\text{d}Q_{\text{rev.}}} + \sum \overset{\text{d}W_{\text{rev.}, i}}{\text{d}W_{\text{rev.}, i}} + \overset{\text{d}W_{\text{diss.}}}{\text{d}W_{\text{diss.}}} + \sum h_k \cdot \overset{\text{d}e_{m_k}}{\text{d}e_{m_k}}$	(5)
Zweiter Hauptsatz: $T \cdot \overset{\text{d}S}{\text{d}S} = T \cdot \overset{\text{d}e_S}{\text{d}e_S} + T \cdot \overset{\text{d}l_S}{\text{d}l_S} = \overset{\text{d}Q_{\text{rev.}}}{\text{d}Q_{\text{rev.}}} + T \cdot \sum s_k \cdot \overset{\text{d}e_{m_k}}{\text{d}e_{m_k}} + \overset{\text{d}W_{\text{diss.}}}{\text{d}W_{\text{diss.}}} - \sum \mu_k \cdot \overset{\text{d}i_{m_k}}{\text{d}i_{m_k}}$	(6)
Exergie (der Enthalpie) $dE = \overset{\text{d}e_E}{\text{d}e_E} + \overset{\text{d}i_E}{\text{d}i_E} = dH - T_U \cdot dS = d(U - \sum L_i \cdot l_i) - T_U \cdot dS$	(7)

Symbolerläuterungen:

- P_j – generalisierte Quantitätsgröße (*state*), *Kapazität*
- Γ_j – generalisierte, zu P_j energie-konjugierte *Qualitätsgröße (rate)*, *Intensität*
- L_i – generalisierte Arbeitskoeffizienten (wie $L_1 = -p$ [Druck], elektrische Feldstärke, „magnetische Feldstärke“)
- l_i – generalisierte Arbeitskoordinaten (wie $l_1 = V$ [Volumen], elektrische Polarisation $\cdot V$, Magnetisierung $\cdot V$)
- μ_k – spezifisches chemisches Potential der Stoffkomponente k
- $\overset{\text{d}}{\text{d}}$ – Diminutiv, Inkrement von Prozessgrößen (Index *e(tern)*): Importe, Exporte; Index *i(ntern)*: Erzeugungen, Vernichtung)

Anmerkungen:

Jeder Term der generalisierten Euler-Gleichung (2) repräsentiert eine *Speichergruppe* mit charakteristischen Kapazitäten P_j und dazu energie-konjugierten Intensitäten/Potentialen Γ_j .

Jedes $\Gamma_j \cdot (dP_j/dt)$ definiert einen charakteristischen *Energiestrom*.

Die Gleichungen (5), (6) und (7) sind *Bilanzgleichungen* für offene thermodynamische Systeme in einem differentiellen Zeitbereich dt . Aus ihrer Integration 1→2 resultieren die Bilanzgleichungen für den integralen Zeitbereich $\Delta t = t_2 - t_1$. Für einfache thermodynamische System $i = 1$ reduziert sich der Term

$$\sum \overset{\text{d}W_{\text{rev.}, i}}{\text{d}W_{\text{rev.}, i}} \rightarrow (-p \cdot dV).$$

Jegliches energetische Geschehen in Natur, Technik und Gesellschaft unterliegt elementaren Gesetzmäßigkeiten: dem *bilanzierenden Energieprinzip* und zugleich dem „regierenden“ *Entropieprinzip*, dem ersten und zweiten Hauptsatz der persistenten Physik, und damit dem *Exergieprinzip*.

Tabelle 1: Energie-Begriff, fundamentale Relationen und Gesetzmäßigkeiten

Erneuerbare Energieträger (EEE, ET, RET):

Naturegebene, ökologisch vorteilhafte Energieträger, die unter definierten Bedingungen fortdauernd aber generell mengenlimitiert, zu einem Zeitpunkt (als Energieströme bzw. Leistungen [W]) oder über endliche

²⁹ Fleischer, L.-G.; Mertzsch, N.: Theorie und Praxis. Die sogenannte Wärmespeicherung bildet ein essentielles Element des Funktions- und Sicherungssystems der evolutionären Energetik. IN: RESource 2/2015, S. 6,7,8.

Zeiträume integriert (als Energiemengen [$W \cdot s = J$]), aus den im Geosystem oder seinen Teilsystemen fließenden natürlichen (periodischen, intermittierenden, regulär und irregulär fluktuierenden) volatilen primären und sekundären Energie-/Stoffströmen oder aus seinen Bewegungen (wie der Erdrotation) gewonnen werden können bzw. die die Fähigkeit besitzen, sich über stoffliche und energetische Wandlungsprozesse in annehmbaren Zeitintervallen im jeweiligen Bilanzraum zu erneuern (z. B. Biomassen). Dabei sind die thermodynamisch offenen Systeme im Interesse ihrer zu sichernden multiplen Funktionalitäten im stationären Zustand (dynamischen Gleichgewicht) stabil zu (er)halten. EEE's sind letztlich aus der natürlichen exergetischen Entwertungskette (in erster Linie) der Solarstrahlung an begünstigten Stellen „extrahierte Exergien“, d. h. unter bestimmten Bedingungen (Bezugszustand) arbeitsfähige Energien, Biomassen, Geothermie und Gezeitenenergien bleiben in ihrem energietechnischen Stellenwert deutlich hinter der Solarenergie zurück.

Erneuerbare Primärenergieträger dienen zunehmend der energetischen Direktnutzung oder zur Konversion in anwender- und bedarfsgerechte Gebrauchsennergien (Endenergien): elektrische, thermische und chemische[stoffliche] Energien unterschiedlicher Anforderungsniveaus und Parameter. Als Gebrauchsennergieträger fungieren in der „Drehtür“ der Energiewandlungskette vor allem feste, flüssige und gasförmige Brennstoffe, Treibstoffe, Elektroenergie und fluide Heizmedien.

Vermögensenergieträger:

An Lagerstätten gebundene, erschöpfbare natürliche Ressourcen: fossile und nukleare Energieträger- Kohlen [(Lignite)Braun- und Steinkohlen], Kohlenwasserstoffe [Erdöl und Erdgas], Kernbrennstoffe [Uran, Thorium] für Kernspaltungsreaktoren einschließlich deren vierter Generation.

Tabelle 2: Charakterisierung der Einkommens- und Vermögensenergieträger

Entropie (εητροπη – 1865 R. Clausius):

fundamentale physikalische Kategorie, zur Energie komplementäre, unter mathematischer Zuhilfenahme von T als Eulerschen Multiplikator, *systemkonform konstruierte*, extensive (mengenabhängige) physikalische Größe S. Sie erfüllt phänomenologisch zwei Grundfunktionen: *Wertmaß* (Quantum einer bestimmten Qualität – Verfügbarkeit, Wandlungspotential) und *Prozessindikator* (indiziert und bewertet Prozessmodalitäten – ihren reversiblen, quasistatischen und irreversiblen *Charakter*, ihre *Richtung* und die *Intensität/Geschwindigkeit* der Änderungen in Raum und Zeit).

S gehorcht Bilanzgleichungen: Zeitbereichsbilanzen (dt, Δt) bzw. Zeitpunktbilanzen (dt → 0) vom Prototyp:

Inhaltsänderungen = Änderungsursachen: =Zufuhren + Erzeugungen

(Zustandsgrößen)

(Prozessgrößengruppen)

Aus den *Zufuhren* (Importen) und *Erzeugungen* (Zunahmen) im differentiellen Zeitbereich dt resultieren für einen Zeitpunkt $dt \rightarrow 0$ *Strome und Produktionen* als Prozessgrößen.

Für einen differentiellen Zeitbereich dt gilt: $dS = d_e S + d_i S$

Im wesentlichen Unterschied zur *differentiellen Änderung* dS der Zustandsgröße S sind $d_e S$ und $d_i S$ Diminutive mit dem Inkrement δ .

Die *inkrementelle Prozessgröße* $d_e S$ bilanziert die Entropieänderungen infolge phänomenologisch realer Wärme- und Stofftransporte ($dQ \neq 0$, $d_e m_k \neq 0$) – also externe Einflüsse: äußerer Einwirkungen und Auswirkungen mit charakteristischen Mechanismen an freien und/oder permeablen Grenzflächen.

In einem differentiellen Zeitbereich dt gilt:

$$d_e S = dQ_{rev.}/T + \sum s_k \cdot d_e m_k = m \cdot (dq_{rev.}/T + \sum s_k \cdot dm_k)$$

[s_k – partielle spezifische Entropie der Komponente k]

Die $d_e S$ nehmen als Entropieimport bzw. Entropieexport positive bzw. negative Werte an.

$d_e S = 0$ indiziert den Sonderfall thermisch isolierter geschlossener Systeme ($dQ = 0$, $d_e m_k = 0$) – die adiabatische Prozessführung.

Für einen Zeitpunkt resultieren *Strombilanzen* mit *vektoriellen Strömen* \mathbf{J}_o und dem Einheitsvektor $\boldsymbol{\kappa}$. Die Vektoranalysis definiert zur klassisch-thermodynamischen Konvention invertierte Vorzeichen. Zu bilanzieren sind für die Wärme: $\mathbf{J}_{h(eat)} = -\boldsymbol{\kappa} \cdot (dQ/dt)$, für die Stoffkomponenten k: $\mathbf{J}_k = -\boldsymbol{\kappa} \cdot (dm_k/dt)$, für die Entropie:

$\mathbf{J}_s = -\boldsymbol{\kappa} \cdot (d_e S/dt)$ und damit: $\mathbf{J}_s = (1/T) \cdot \mathbf{J}_h + \sum s_k \cdot \mathbf{J}_k$ sowie $\mathbf{J}_s = \mathbf{0}$ im Sonderfall der Adiabasie.

Die *inkrementelle Prozessgröße* $d_i S$ erfasst systeminterne Ursachen (Index i) der Entropieänderung, die Entropieerzeugung infolge irreversibler (natürlicher) Prozesse, wie *dissipativer Effekte* (z. B. Reibungseffekte,

Bewegungsvorgänge, Elektronentransport in Leitern, stoffliche Konversionen-Reaktionen) und alle natürlichen *Ausgleichsprozesse* in Feldern – wie die prototypische Wärmeleitung, die Diffusion etc.

Die Entropieerzeugung natürlicher (irreversibler) Prozesse bildet eine ‚Kernaussage‘ des 2. *Hauptsatzes der Thermodynamik/Physik* – eines *allgemeines Naturgesetzes*. Diese Entropieerzeugung vermindert gesetzmäßig die ‚Umwandelbarkeit‘ (freie Verfügbarkeit) der am Prozess beteiligten Energien: der Energieanteile und Energieformen-bewirkt deren Degradation, Dissipation. Unter bestimmten System- und Umgebungsbedingungen wirkt indes ein zweiter, ein *konstruktiver Aspekt des Entropieprinzips* – die *aktive und passive Strukturbildung*. Fernab vom thermodynamischen Gleichgewicht, im *Nichtgleichgewicht offener Systeme*, kann die Kooperation von Subsystemen infolge der Selbstorganisation auf makroskopischen Skalen neuartige räumliche, zeitliche oder funktionale Strukturen kreieren.

Bei relativer Gleichgewichtsnähe gilt in einem differentiellen Zeitbereich dt:

$$\mathbf{d}_i\mathbf{S} = 1/T \cdot (\mathbf{d}W_{\text{diss}} - \sum \mu_k \cdot \mathbf{d}_i\mathbf{m}_k) = m/T \cdot (\mathbf{d}w_{\text{diss}} + \sum \mu_k \cdot \mathbf{d}_i m_k)$$

Die *inkrementelle Entropieerzeugung* $\mathbf{d}_i\mathbf{S}$ bzw. in Zeitpunktbilanzen die Entropieproduktion $\sigma := \mathbf{d}_i\mathbf{S}/dt$, sind für irreversible Prozesse *per definitionem* positiv definit: $\mathbf{d}_i\mathbf{S} > 0$, $\sigma > 0$. Im theoretischen Grenzfall der unendlich langsam über eine unendliche Folge von Gleichgewichten (im ‚währenden‘ Gleichgewicht, also real nicht ablaufenden, in diesem Sinn fiktiven Transformationen), nimmt sie für die damit definierten reversiblen (und quasistatischen) Prozesse, vereinbarungsgemäß den Wert Null an $\mathbf{d}_i\mathbf{S} = 0$, $\sigma = 0$.

Tabelle 3: Entropie-Begriff, fundamentale Relationen und Gesetzmäßigkeiten

Exergie ($\epsilon\xi$ - $\epsilon\rho\gamma\omega$ – 1956 Z. Rant), *exergy, availability, utility, l'energie utilisable, работо-способность*: Qualitätsmaß der Energien, arbeitsfähige (freie, unbeschränkt wandelbare) Energie- unter reversiblen Bedingungen beim Potentialausgleich $\Gamma_j - \Gamma_{j,U} = 0$ mit der Umgebung maximal gewinnbare, beim Potentialaufbau minimal aufzuwendende technische Arbeit, fundamentale natur- und technikwissenschaftliche, mit ökonomischen Kategorien kombinierbare Zustandsgröße 2. Art (\rightarrow totales Differential-Gleichung (7) Tab. 1).

Methode: Analyse und Bewertung von komplexen Systempaaren der-emergenten Ganzheit $\mathbf{E} = \{\Sigma, \Sigma_U\}$ – aus dem zu evaluierenden offenen „Kernsystem“ Σ (einem Teilsystem unterschiedlichster physikalischer und chemischer Struktur) und dem gleichrangigen *Referenzsystem* Σ_U im inneren (u. U. im gehemmten) Gleichgewicht. Σ interagiert reversibel (quasistatisch) mit Σ_U stofflich, energetisch sowie informationell.

Σ_U bildet *per definitionem* ein Reservoir quasi unendlicher Extension: ein System mit festliegenden (natürliche Umgebung) oder zweckmäßig festgelegten (Modellumgebung) intensiven Parametern Γ_j , $U = \text{const.}$, wie $I_{i,U}$ (speziell p_U), T_U , $\mu_{k,U}$.

Das *Exergieprinzip* vereint, als Synthese aus dem Energie- und Entropiesatz mit korporierter Umgebung, praktikabel und anschaulich die Aussagen beider Hauptsätze, bilanziert die maximale technische Arbeitsfähigkeit unter definierten Umgebungsbedingungen. Für die Zustandsgröße gilt:

Exergie := Energie(differenz) – Anergie(differenz).

In einen differentiellen Zeitbereich dt folgt für die Exergie der Enthalpie (beachte in Tab. 1 Gl. (7)):

$$\mathbf{d}\mathbf{E} = \mathbf{d}_e\mathbf{E} + \mathbf{d}_i\mathbf{E} = \mathbf{d}\mathbf{H} - T_U \cdot \mathbf{d}\mathbf{S} \quad \text{mit} \quad \mathbf{d}_e\mathbf{E} = \mathbf{d}\mathbf{H} - T_U \cdot \mathbf{d}_e\mathbf{S} \quad (\text{bei Reversibilität}) \quad \text{sowie dem} \quad \textit{Exergieverlust}:$$

$$\mathbf{d}_i\mathbf{E} = -T_U \mathbf{d}_i\mathbf{S} \quad \text{bzw. in Strombilanzen mit der Exergieextermination.}$$

$$\epsilon := \mathbf{d}_i\mathbf{E}/dt = -T_U \cdot \sigma.$$

Die Exergieverluste $\mathbf{d}_i\mathbf{E}$ bzw. ϵ sind gesetzmäßig über das negative Vorzeichen und den Proportionalitätsfaktor Umgebungstemperatur mit der Entropieerzeugung/Entropieproduktion korreliert. Aus der prototypischen Bilanzgleichung sind über Substitutionen mit beiden in ihr vereinten Hauptsätzen der Physik sowie mit dem Satz der transformierten thermodynamischen Potentiale, mittels des Übergangs zu Strombilanzen und Integrationen, adäquat prozessbeschreibende Funktionen herzuleiten.

Tabelle 4: Exergie-Begriff, fundamentale Relationen und Gesetzmäßigkeiten