

# SIND WIND UND SOLAR DER HERAUSFORDERUNG GEWACHSEN?

EINE ZUSAMMENFASSUNG DER ENERGIEÖKONOMISCHEN GRUNDLAGEN VON WIND UND SOLAR ZUR ERZEUGUNG „NETZFÄHIGER“ ELEKTRIZITÄT

Dr Lars Schernikau

## INHALT

1. Wende oder Ergänzung?
2. Das Herzstück der Stromversorgung
  - Herausforderung: Energiedichte W/m<sup>2</sup>
  - Herausforderung: Betriebslebensdauer
  - Herausforderung: Intermittenz
3. Überwindung von Energiedichte, Lebensdauer und Intermittenz ... aber wie?
4. Zusammenfassung: Umweltfolgen, hohe Kosten und Energiearmut
5. Quellenangaben (hier finden Sie alle im Artikel genannten Links und Quellen)

Die Fahrt durch den Nordosten Deutschlands erinnerte mich an einen dieser dystopischen Filme wie „Mad Max“, in denen eine schreckliche Zukunft mit Engpässen jeglicher Art dargestellt wird. Beim Anblick der Reihen von sich langsam bewogender oder stillstehender Windkraftanlagen, des grauen Himmels, eines großen Solarfelds hier und da und des schleichenden Verkehrs... fragte ich mich, was aus dem pulsierenden Leben und der Großindustrie geworden ist, für die Deutschland bekannt ist.

Dies ist vielleicht keine faire Darstellung von Deutschland, meinem Heimatland, trotz der jüngsten Prognosen für ein zweites Jahr der Rezession [2]. Es war nur ein Teil von Deutschland, den ich als nicht so cool empfand, anders als die Stadtzentren von Berlin, München, Hamburg, Köln oder Frankfurt.

Diese Fragen ... Warum sind diese Windräder und Solarpaneele so ein Thema der Debatte? Sollen sie nicht die Zukunft sein? Soll die „Energiewende“ nicht genau das sein ... ein Übergang zur Nutzung von mehr Wind und Sonne und weniger Kohle, Öl und Gas? ... gehen durch meinen Kopf, während ich diesen Blog schreibe.

Zunächst möchte ich darlegen, warum die Umstellung auf Wind- und Solarenergie und damit auch auf die von Wind- und Solarenergie abgeleiteten Elektrofahrzeuge, Wasserstoff und Wärmepumpen (1) bisher erfolglos war und (2) niemals ohne enorme Kosten für unsere Umwelt und die Wirtschaft erfolgreich sein kann.

Lassen Sie uns tiefer einsteigen und die Quelle des Problems finden. Heute geht es nicht um Zahlen, sondern um grundlegende energiewirtschaftliche Fragen!

**Meine Motivation, kritisch über Wind und Solar zu schreiben, wird oft missverstanden. Aber bedenken Sie dies: Ich bin der Meinung, dass unsere Welt sich vereinen und nicht spalten muss.**

**Spaltung entsteht durch unterschiedliche Überzeugungen... die im Extremfall zu Kriegen führen. Solche Kriege müssen nicht immer mit tödlichen Waffen geführt werden. Diskriminierung oder auch verletzende Worte haben schon genug negative Auswirkungen und sind oft nichts anderes als ein Ausdruck unterschiedlicher Überzeugungen.**

***Auch ich habe Überzeugungen. Ich glaube, dass Wissen, Aggressionen und Ängste vor dem Unbekannten abbaut. Es gibt sogar eine peer reviewed Arbeit von Zacher & Rudolph 2023: Environmental Knowledge Is Inversely Associated with Climate Change Anxiety [1] darüber.***

***Wir sollten uns darauf konzentrieren, die Spaltung zu verringern und die Einheit zu fördern, die mit Wissen und Liebe gefördert werden kann. Ich kann Wissen verbreiten, das es den Menschen ermöglicht, kritisch zu denken und ihre eigenen Schlussfolgerungen zu ziehen (ich arbeite noch an der Liebe 😊). Ich behaupte nicht, die letzte Wahrheit gefunden zu haben, ich lerne jeden Tag dazu. Ich behaupte aber, dass ich genug Zeit mit Energie- und Rohstoffökonomie verbracht habe, um die Spaltung über die „Energiewende“ unter denjenigen zu verringern, die daran interessiert sind, sie zu verstehen. Wenn wir die Vor- und Nachteile der verschiedenen Systeme verstehen, können wir besser informiert Entscheidungen treffen.***

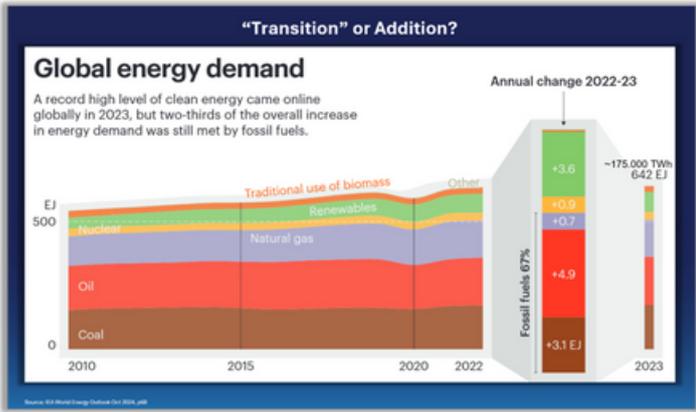
## 1. Wende oder Ergänzung?

Inzwischen besteht kein Zweifel mehr daran, dass die so genannte „Energiewende“ **noch nicht einmal begonnen hat**. Während wirtschaftlich stagnierende oder schrumpfende Länder wie Deutschland in der Lage sind, ihren Kohle-, Gas- und möglicherweise sogar Ölverbrauch zu reduzieren, bleibt es eine unbequeme Wahrheit, dass die Welt als Ganzes weit davon entfernt ist, auch nur den Anfang einer „Wende“ zu machen. Stattdessen erreicht der Verbrauch konventioneller Energieträger Jahr für Jahr neue Höchststände, außer in globalen Rezessionen.

Der jüngste IEA World Energy Outlook 2024 [3] bestätigt, dass 2/3 der im Jahr 2023 insgesamt hinzugefügten Energie aus Kohle, Öl und Gas stammt (Abbildung 1). Es scheint also, dass der Prozentsatz der aus konventionellen Quellen stammenden Energie gegenüber dem derzeitigen weltweiten Durchschnitt von ca. 80 % leicht sinkt, wobei Wind- und Solarenergie bisher nur einen relativ kleinen Teil dazu beigetragen haben... und dies zu einem erheblichen Preis für unsere Volkswirtschaften, die Menschen und die Umwelt.

Zum Beispiel stammen seit 2010 rund 90 % des südostasiatischen „Energiezuwachses“ (44,7 TWh) aus Kohle (40,2 TWh). Die IEA bestätigt auch, dass 80 % des primären „Energiezuwachses“ in diesem Zeitraum aus konventionellen fossilen Brennstoffen stammten. Die ASEAN und sogar die IEA müssen zugeben, dass die Zukunft der Region von der Kohle bestimmt wird [4]. Die ASEAN sagt: „Tatsächlich **übertrifft Kohle derzeit andere Energiequellen in Bezug auf Versorgungssicherheit, Erschwinglichkeit und – in gewissem Maße – Nachhaltigkeit** bei der Stromerzeugung in der ASEAN“. [4]

Abbildung 1: Energie-„Übergang“ oder „Ergänzung“?



„Wende“ bedeutet, dass man von etwas Altem und Minderwertigem zu etwas Neuem und Besserem übergeht. Während des Betriebs erscheinen anfangs Wind- und Solarenergie konventionellen Energieformen überlegen zu sein und keine negativen Auswirkungen auf die Umwelt zu haben... eine scheinbar kostenlose und reichlich vorhandene Energiequelle!

Doch Wind- und Solarenergie sind nicht überlegen... und warum sie in Wirklichkeit minderwertig sind, werden wir hier untersuchen. In Anbetracht der aktuellen politischen Unruhen und Veränderungen bitte ich Sie, mir zu glauben, wenn ich sage, dass es hier NICHT um Politik geht.

## 2. Das Herzstück der Stromversorgung

We understand that electricity only consumes about 40% of all primary energy, the other 60% is relatively evenly distributed among transportation, heating, and industrial use. Wir wissen, dass Strom nur etwa 40 % der gesamten Primärenergie verbraucht, die anderen 60 % verteilen sich relativ gleichmäßig auf Verkehr, Heizung und industrielle Nutzung. Wir verstehen auch das Trilemma der Energiepolitik, die eine zuverlässige und erschwingliche Energieversorgung mit möglichst geringen Umweltauswirkungen anstrebt. Diese Perspektive habe ich in meinem [Beitrag](#) „The ‘Energy Trilemma’ And The Cost Of Electricity“ behandelt [in deutscher Übersetzung verfügbar].

Wenn wir nun versuchen, Wind- und Solarenergie (derzeit etwa 12 % des weltweiten Stroms, Abbildung 2) mit Kohle, Gas und Kernkraft (derzeit etwa 70 % des weltweiten Stroms) zu vergleichen, gibt es drei Hauptunterschiede, die den Kern der Herausforderung „Energiewende“ ausmachen:

- **Energiedichte**
- **Betriebslebensdauer**
- **Intermittenz**

Diese drei Punkte sind genau die Gründe, warum Wind- und Solarenergie so schwer zu kämpfen haben. Die erklären, warum der „saubere“ Betrieb von Wind- und Solarenergie unter Nutzung der „gratis“ und reichlich vorhandenen Wind- und Sonnenkräfte die Technologie nicht den konventionellen Energiequellen überlegen macht. Sie verdeutlichen, warum der „Übergang“ problematisch erscheint, **warum die „grüne Elektrifizierung“ so teuer ist und warum Elektrofahrzeuge, Wärmepumpen, Datenzentren oder Wasserstoff aus Wind und Sonne nicht als intelligenter Ansatz betrachtet werden können.**

Anmerkung: Sie haben vielleicht bemerkt, dass ich nicht behaupte, dass E-Fahrzeuge, Wärmepumpen, Datenzentren oder sogar Wasserstoff per se eine schlechte Idee sind, ganz im Gegenteil. Je nach Anwendung können sie nicht nur vorteilhaft, sondern manchmal sogar unerlässlich sein. Ich möchte auch nicht behaupten, dass Wasserkraft oder Erdwärme ungeeignete Optionen sind... ich möchte vielmehr darauf hinweisen, dass Wasserkraft durch Flussläufe eingeschränkt ist und Umweltprobleme mit sich bringt, während die Geothermie noch in den Kinderschuhen steckt. Die Herausforderungen und Grenzen der Biomasse werden in Michael Moores Dokumentarfilm „Planet of the Humans“ [6] aufschlussreich beleuchtet.

## 2.1 Herausforderung: Energiedichte W/m<sup>2</sup>

Die Energiedichte ist einfach, sie wird **volumetrisch** in E pro Liter oder **gravimetrisch** in E pro kg oder **räumlich** in E pro m<sup>2</sup> ausgedrückt (oft „Power Density“ in W/m<sup>2</sup>).

Ich würde in der Tat zustimmen, dass wir „fast“ unbegrenzte Energie aus der Sonne und vielleicht etwas begrenzte Energie aus dem Wind haben. Die Windkraft als globale Energiequelle liegt zwischen 45 und 100 TW. Dem stehen weniger als 9 TW der gegenwärtig weltweit installierten Stromerzeugungskapazität aller Arten gegenüber, es scheint also mehr als genug zu sein? ... Vielleicht doch nicht! ... denn die Energie, **die auf unserer Oberfläche pro m<sup>2</sup> aus Wind und Sonne gewonnen werden kann, ist sehr gering...**

Wir wissen, dass der Erste Hauptsatz der Thermodynamik auch für Wind und Sonne gilt: Energie geht nie verloren, sie wird nur „bewegt“ oder von einer Form in eine andere „übertragen“ („verlorene“ Energie führt zur Erwärmung unserer Umgebung, denken Sie an Ihr Smartphone oder Ihren Computer). Wenn wir Wind aus der Luft „nehmen“, verlangsamen wir natürlich die Windgeschwindigkeit. Diese „verlorene Wind“ werden mit der Zeit wieder „aufgefüllt“, und die Energierückgewinnungsrate ERR für Wind besagt, dass nur etwa 1 bis maximal 2 MW/km<sup>2</sup> für die „erneuerbare“ Nutzung des Winds durch den Menschen zur Verfügung stehen. Diese niedrige „Leistungsdichte“ des Windes hat eine Rohstoff- und Energie-ineffiziente Konsequenz.

Abbildung 2: Elektrizität macht 40 % der Primärenergie aus

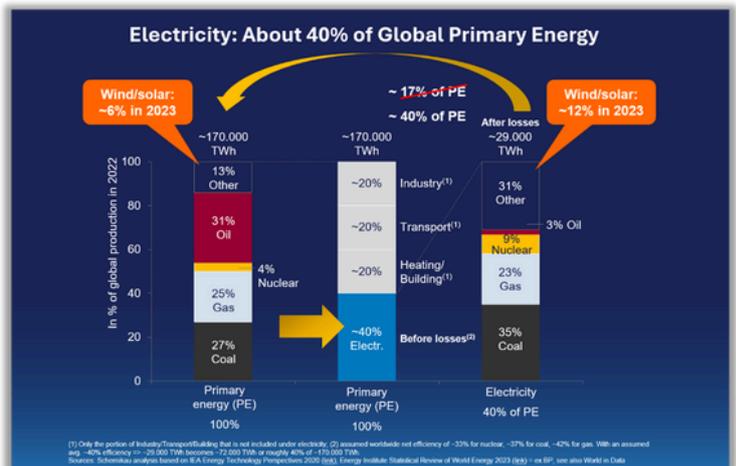
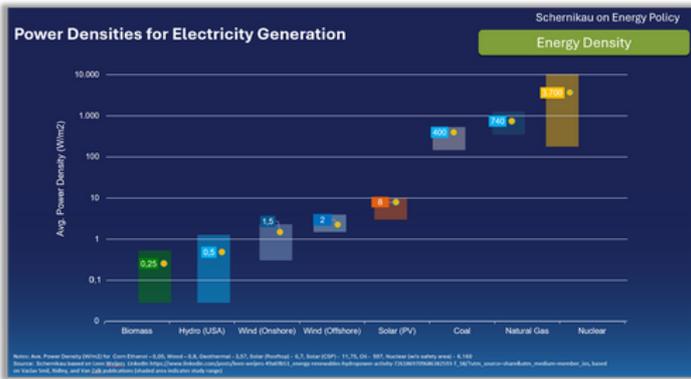


Abbildung 3: Energiedichte



Die wahrscheinlich beste Studie zur Leistungsdichte ist **Miller & Keith 2019**: Observation-Based Solar and Wind Power Capacity Factors and Power Densities [6b].

*Wenn ganz Deutschland mit Windkraftanlagen bedeckt wäre, würden diese bei 1,5 W/m² im Durchschnitt und unter der falschen Annahme, dass es keine Verluste gibt, genug Strom erzeugen, um etwas mehr als den deutschen Strombedarf zu decken, aber nicht genug für den gesamten Energiebedarf. Und natürlich hätten wir keine Energie, wenn der Wind nicht weht (wie jetzt oft im November).*

Bedenken Sie auch, dass die Leistungsdichte der Sonne pro m² von Natur aus begrenzt ist, nicht nur durch Tageslicht (Nacht) und Wolkenbedeckung, sondern auch durch die Sonneneinstrahlung oder die „Kraft der Sonne, die auf Ihren Kopf scheint“. Es ist ein Unterschied, ob man im Hochsommer mittags in Arizona oder in Nordrussland in der prallen Sonne steht. Auch hier hat die geringe Leistungsdichte von etwa 5.000 kWh in Deutschland gegenüber 10.000 kWh pro installiertem kW und Jahr in Arizona einen direkten Einfluss auf den Primärenergiebedarf des ganzen Systems. Abbildung 3 vergleicht die Leistungsdichte der verschiedenen Technologien in W/m². Es besteht kein Zweifel daran, dass Wind- und Solarenergie so schwach sind, dass es unfassbar ist, wenn sachkundige Führungskräfte aus Wirtschaft und Politik wirklich glauben, dass sie der Motor für eine „nachhaltige“ Energiezukunft unseres industrialisierten Planeten sein können.

In Anbetracht all dieser Tatsachen ist es erwähnenswert, dass die **Technologie nicht in der Lage ist, die geringe verfügbare Leistung pro Quadratmeter aus den so genannten reichhaltigen Wind- und Sonnenressourcen zu erhöhen.**

Vergessen Sie nicht, dass Sie immer noch eine Infrastruktur bauen müssen, um diese „kostenlose Energie“ zu sammeln, genauso wie Sie eine – viel geringere – Infrastruktur, z. B. Minen oder Brunnen, bauen müssen, um die „kostenlose Energie“ aus Kohle, Öl, Gas oder Kernkraft zu sammeln. Mueller et al 2023 [6b] ist eine hervorragende Informationsquelle für die Lebenszyklus-Analyse der Solarenergie.

Der Plan ist, Millionen von Quadratkilometern der Erde mit Wind- und Solaranlagen zu bedecken, einfach weil die Leistungsdichte des einfallenden Windes oder der Sonne in W/m² so gering ist... und keine Erfindung kann die Leistungsdichte erhöhen – es ist ein physikalisches Phänomen und kein Ingenieur-technisches.

## 2.2 Herausforderung: Betriebslebensdauer

Die Lebensdauer unserer Energieanlagen ist ein Thema, das oft übersehen wird, obwohl es so wichtig und grundlegend ist, dass es ein eigenes Buch verdient. Lassen Sie es uns vorerst einfach und auf den Punkt bringen.

Herkömmliche Kraftwerke wie Kohle-, Gas- oder Kernkraftwerke halten Jahrzehnte, oft deutlich länger als 40 Jahre, wobei einige Verbesserungen während der Lebenszeit erforderlich sind. Wind- und Solartechnologie im Netzmaßstab wie derzeit in China produziert wird dagegen voraussichtlich im Durchschnitt weit weniger als 20 Jahre halten, wie mehrere Berichte detailliert beschreiben. Ich habe früher eine Windparkgesellschaft in Deutschland geleitet und kann einige Geschichten darüber erzählen, wie die Leistung von Windturbinen nach nur wenigen Betriebsjahren abnimmt (Abbildung 4).

Das US-amerikanische National Renewable Energy Laboratory NREL 2021 [9] stellt fest, dass ein teilweises und vollständiges Repowering von „netzfähigen“ Solaranlagen 10-12 Jahre nach der Installation aufgrund von fünf Faktoren erfolgt:

„(1) kostengünstigere, effizientere Modultechnologie, (2) Auslaufen von Stromabnahmeverträgen, (3) Austausch von Wechselrichtern und anderen Geräten, (4) vorzeitige Ausmusterungen aufgrund extremer Wetterereignisse (z. B. Feuer- und Hagelschäden) sowie Herstellerdefekten und (5) steuerliche Anreize – Nachrüstungsinvestitionen können für eine Investitionssteuergutschrift, einen Steuerabzug durch das modifizierte System der beschleunigten Kostendeckung und/oder einen Abschreibungsbonus von 50 % in Frage kommen“.

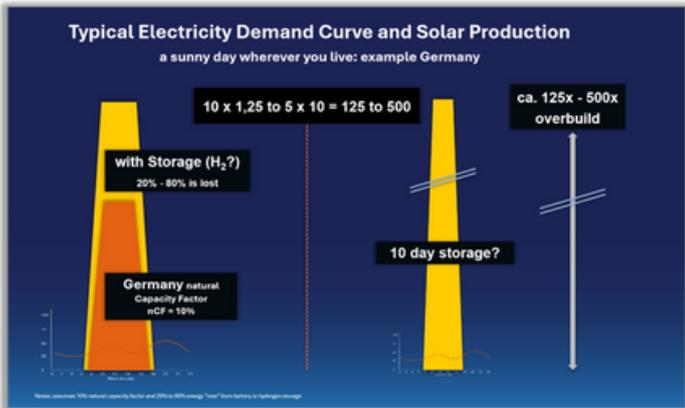
Weitere bemerkenswerte Studien zur Frage der kurzen Betriebsdauer von Solar- und Windkraftanlagen sind:

- [10] ISF-UTS 2020: Bericht von Sustainable Futures und der University of Technology Sydney : „Erkenntnisse von Interessenvertretern deuten darauf hin, dass frühzeitige Verluste die durchschnittliche Lebensdauer auf 15 Jahre reduzieren könnten“.
- [11] Libra et al 2023: Forscher der Tschechischen Universität für Biowissenschaften in Prag untersuchten 85 Solarkraftwerke, die zwischen 2009 und 2010 in Mitteleuropa in Betrieb genommen wurden, und stellten fest, dass die tatsächliche Lebensdauer der Anlagen etwa 12 Jahre beträgt.

Figure 4: Betriebslebensdauer der „erneuerbaren“ Technologien



Abbildung 5: Berechnung der theoretisch erforderlichen solaren Überbauung



- [12] IER 2024: Windturbinen und Solarpaneele altern vorzeitig. Die behauptete 25-jährige Lebensdauer von Windturbinen beträgt in Wirklichkeit nur 7-10 Jahre, danach müssen die riesigen Rotorblätter ausgetauscht werden.
- [13] Duran et al. 2022: „Der kombinierte Effekt von sinkenden Preisen und höherer Effizienz neuerer PV-Panel-Technologien veranlasst die Besitzer von Solarmodulen, ihre Anlagen vorzeitig zu ersetzen, d. h. lange vor dem prognostizierten Ende der 30-jährigen Lebensdauer.“
- Offshore-Windkraftanlagen sind wahrscheinlich am problematischsten, da die rauen Meerwasserbedingungen weit von der Küste entfernt nicht nur den Bau und die Wartung problematisch machen, sondern auch zu einem schnelleren Verschleiß führen, was einen noch früheren Austausch erforderlich macht [14].

Das bedeutet, dass **Wind- und Solarkraftwerke mindestens doppelt, oft sogar dreimal so oft ersetzt werden müssen wie konventionelle Wärmekraftwerke**. Sie können sich vorstellen, welche Auswirkungen dies auf den Rohstoffeinsatz, den Energieeinsatz und die Entsorgungsvorgänge hat (Abbildung 4). Die kurze Betriebsdauer von Wind- und Solarkraftwerken ist kritisch und wird noch schlimmer, wenn man den Überbau berücksichtigt, der zur Überwindung der Unstetigkeit und zur Speicherung erforderlich ist (nächster Abschnitt).

### 2.3 Herausforderung: Intermittenz

Der dritte und letzte grundlegende Unterschied zwischen der intermittierenden Wind- und Solarenergie und der planbaren konventionellen Kohle-, Gas- und Kernkraft hängt mit der Unvorhersehbarkeit des Wetters zusammen – der Intermittenz oder der Unstetigkeit. Dies ist offensichtlich und wurde schon zu Tode diskutiert, aber es ist bemerkenswert und wichtig, seine Auswirkungen zu verstehen.

Die Unplanbarkeit des Wetters, d. h. der Sonnenscheindauer oder der Windverhältnisse, kann im Ursprung durch keine Technologie geändert werden und hat **drei Hauptfolgen**:

- geringe Auslastung** der Anlagen ... im weltweiten Durchschnitt liegt der natürliche Nutzungsgrad der Solarenergie bei 11 % und der Windenergie bei 22 % [15] lesen Sie auch meinen [Blogbeitrag](#)

- man muss **Hilfssysteme** für (a) Übertragung und Netzintegration sowie (b) Speicherung und Backup für Zeiten mit ungünstigen Wetterbedingungen einrichten.

Ein Solarmodul in Deutschland „funktioniert“ im Durchschnitt etwa 10 % der Zeit. Um den vollen Bedarf Tag und Nacht zu decken, müsste man das 10-fache überbauen, wenn man keine Verluste annimmt. Um die Energie vom Tag in die Nacht zu transportieren, muss man einen Speicher bauen, der zwischen 20 % (Batterien) und 80 % (Wasserstoff) Energieverluste aufweist, die man ebenfalls ausgleichen muss. Wenn man die Solarenergie für 10 Tage speichern will zum Beispiel für 10 Tage ungünstiges Wetter im Herbst oder Winter, müsste man sie  $10 \times 1,25$  bis  $5 \times 10 = 125$  bis  $500x$  überbauen (Abbildung 5)... **ja, man muss sie hundertfach überbauen.**

Wind und Sonne ergänzen sich? ... nun, nicht wirklich... denn bei Strom zählen die schlechtesten Stunden, nicht die besten. Abbildung 6 veranschaulicht die Wind- und Solarstromerzeugung in Deutschland in drei Jahren und zeigt die schlechteste 4-Stunden-Periode eines Monats im Vergleich zum Spitzenstrombedarf und der installierten Kapazität.

– Wind und Sonne zusammen sind nicht spitzenlastfähig. **Infolgedessen tragen Wind- und Solarenergie praktisch nicht zur Energiesicherheit bei, egal wie groß die Anlagen sind.**

### 3. Überwindung von Energiedichte, Lebensdauer und Intermittenz ... aber wie?

Das Argument ist, dass wir über Technologien verfügen, um die oben genannten Probleme der geringen Energiedichte, der kurzen Betriebsdauer und der Intermittenz zu überwinden. „Intelligente“ Systeme, Speicherung oder Nachfragereaktion werden oft als Lösungen genannt. Schauen wir uns das mal an.

**Erstens „Input-Energie und Input-Rohstoffe“;** man kann deutlich sehen, dass die dramatische Überbauung, der für die Installation von Wind- und Solaranlagen erforderlich ist, einen **direkten Einfluss auf den Input-Energie- und Input-Rohstoffeinsatz hat, der für den Bau der Anlagen erforderlich ist, die zum „Einsammeln“ der kostenlosen Wind- und Sonnenenergie aus der Natur verwendet werden**. Dieser Energie- und Rohstoffeinsatz übersteigt bei weitem denjenigen, der für den Bau konventioneller Kraftwerke oder die Förderung von „gratis“ Kohle, Gas, Öl oder Uran zur „Verbrennung“ erforderlich ist [15].

Abbildung 6: Minimale kombinierte Wind- und Solarleistung in Deutschland

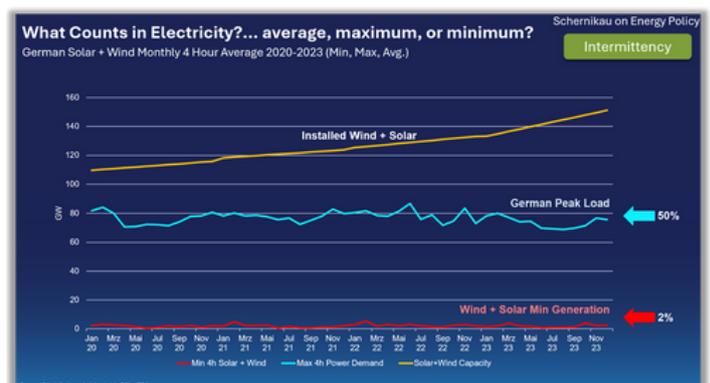


Abbildung 7: Für Solaranlagen benötigte Rohstoffe



Diese mineralischen Rohstoffe müssen abgebaut, aufbereitet, transportiert, verarbeitet und zu nutzbaren Materialien wie Silizium, Glas, Aluminium oder Kupfer verarbeitet werden. Der Energieaufwand ist gewaltig. Praktisch jede Siliziumschmelze in China, die 99,999999999% reines Silizium herstellt, verfügt über ein eigenes kohlebefeuetes Kraftwerk, das die Wärme und den Strom für den Prozess liefert. Außerdem gibt es noch kein Silizium ohne Kohlenstoff aus Kohle, Öl und sehr großen alten Bäumen. Weitere Einzelheiten finden Sie in meinem veröffentlichten [Artikel](#) „Die Bedeutung der Kohle für die Herstellung von Solarzellen“. (Abbildung 7)

Nicht umsonst sagt die IEA [16], dass „*ein sauberes Energiesystem mehr mineralische Ressourcen benötigt als ein auf fossilen Brennstoffen basierendes Energiesystem*“.

**Zweitens „Hilfssysteme“ (Überbauung, Speicher, Backup, Netze):** Es wird deutlich, dass eine große Anzahl von Hilfssystemen erforderlich ist, um Wind- und Solarenergie für den täglichen Gebrauch im Netz „aufzubereiten“. Wind und Solar müssen in unsere bestehenden Systeme integriert werden und die natürlichen Nachteile von Wind- und Solarenergie wollen zumindest teilweise überwunden werden, nämlich: geringe Energiedichte, kurze Lebensdauer und Intermittenz.

Zu diesen erforderlichen Hilfssystemen gehören:

- Ein umfangreiche **Überbauung** (sie erinnern sich an hundertfach?) um den niedrigen natürlichen Nutzungsgrad zu überwinden, der zu einer geringen Auslastung führt, sowie die Herausforderungen der Intermittenz und der Unvorhersehbarkeit zu bewältigen und jegliche Speicher zu laden
- **Kurzzeitige Energiespeicherung** in Form von Batterien zur Überwindung kurzfristiger Schwankungen und zum Ausgleich des Netzes
- **Langzeit-Energiespeicherung** in Form von Wasserstoff zur Überbrückung von Tagen und Wochen mit unzureichender kombinierter Wind- und Solarstromerzeugung
- **Reserve-Kraftwerke**, die bei Bedarf in Bereitschaft stehen; in Deutschland werden bis 2030 12-20 GW Gas benötigt; in Zukunft soll diese Reserve mit Wasserstoff betrieben werden
- Ein sehr viel komplexeres und größeres **Übertragungsnetz und eine Integrations-Infrastruktur**

Diese 5 Systeme, deren geringe Auslastung zum Kostenanstieg beiträgt, sind alle erforderlich, um ein bestehendes Kohle-, Gas- oder Kernkraftwerk zu ersetzen. Diese 5 Systeme – mit Ausnahme der Wärmekraftwerke – haben eine kurze Betriebsdauer, so dass sie alle paar Jahre ersetzt werden müssen, weit häufiger als das konventionelle Kraftwerk allein (Abbildung 8).

Noch besorgniserregender ist, dass der Energie- und Rohstoffeinsatz, der für den Bau dieser Zusatzsysteme – die alle paar Jahre ersetzt werden müssen – erforderlich ist, größer und bedeutender sein könnte als der, der für die Überbauung von Wind- und Solarenergie allein erforderlich ist, der ohnehin schon groß ist. Die IEA hat diese Rohstoffe für Zusatzsysteme in ihrer Aussage „*ein sauberes Energiesystem erfordert mehr mineralische Ressourcen als ein auf fossilen Brennstoffen basierendes Energiesystem*“ [16] NICHT berücksichtigt.

#### 4. Zusammenfassung: Umweltfolgen, hohe Kosten und Energiearmut

**(A) Geringe Energiedichte, (B) kurze Betriebslebensdauer und (C) Intermittenz führen unmittelbar zu einem relativ (1) höheren Rohstoff- und Energiebedarf sowie (2) einer Reihe von Hilfssystemen, die erforderlich sind, um Wind- und Solarenergie nutzbar zu machen (Abbildung 9).**

Das ist reine Energieökonomie und erklärt die niedrige Netto-Energieeffizienz bzw. den niedrigen eROI von Wind- und Solarenergie... was der landläufigen Meinung völlig zu widersprechen scheint. Schlagen wir nun die Brücke zu ökologischen und monetären Überlegungen.

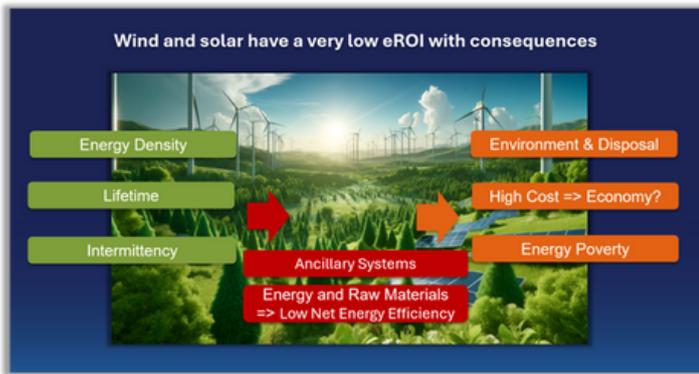
**Folgen für die Umwelt:** Es liegt auf der Hand, dass die kurze Lebensdauer und großen Installationen von Wind-, Solar- und Nebenanlagen nicht nur ersetzt, sondern alle paar Jahre auch entsorgt werden müssen. Darüber hinaus haben die geringe Energiedichte und der daraus resultierende große Flächenbedarf direkte Auswirkungen auf die Flora, die Fauna – wie Wale, Vögel und Insekten – sowie auf das lokale Klima wie Luftfeuchtigkeit und Temperatur. Machen Sie ein kleines Experiment, gehen Sie hinaus und fühlen Sie die Temperatur und messen Sie die Luftfeuchtigkeit direkt unter und direkt über einem Solarpaneel im Sonnenschein.

Die Vereinten Nationen haben hervorgehoben, dass Wind- und Solarenergie über ihren gesamten Lebenszyklus hinweg ein höheres Potenzial für krebserregende Toxizität beim Menschen aufweisen als Kernkraft und sogar Kohle oder Erdgas. Diese als „Humankarzinogenes Toxizitätspotenzial“ bezeichnete Kennzahl misst die Auswirkungen von Stoffen, die während der Lebensdauer einer Technologie freigesetzt werden und das Krebsrisiko für Menschen erhöhen können.

Abbildung 8: Zusatzsysteme: Ersetzen eines „schmutzigen“ Systems durch fünf „saubere“ Systeme?



Figure 9: Summarizing the impact of wind and solar



Es ist wichtig zu wissen, dass diese Zahlen nicht die gesamte Infrastruktur berücksichtigen, die für Wind- und Solarsysteme benötigt wird – wie z. B. Batteriespeicher, umfangreiche Verkabelung oder Stützstrukturen – sondern sich nur auf die Kernkomponenten wie Solarmodule und Windturbinen konzentrieren. Dies deutet darauf hin, dass die tatsächliche karzinogene Toxizität von Systemen zur Nutzung erneuerbarer Energien in den aktuellen Bewertungen unterschätzt werden. [28]

Recycling hört sich gut an, verursacht aber auch Rohstoff-, Energie- und wirtschaftliche Kosten, die oft höher sind als die Kosten für die Entsorgung von Wind- und Solaranlagen allein. Siehe Harvard-INSEAD The Dark Side of Solar Power [24].

**Die neue Kreislaufwirtschaft** sieht folgendermaßen aus: Abbau und Aufbereitung von Rohstoffen in **Afrika**, Verschiffung nach **China**, Verarbeitung und Herstellung in China, Montage irgendwo in **Südostasien**, Transport nach **Europa** oder in die **USA**, Rücktransport nach Afrika, Entsorgung auf Mülldeponien in Afrika. Hier finden Sie eine Liste ausgewählter, von Experten begutachteter Arbeiten zu den Umweltauswirkungen von Wind- und Solarenergie:

- [18] Long et al 2024: Large-Scale Photovoltaic Solar Farms in the Sahara Affect Solar Power Generation Potential Globally
- [16] Albanito et al 2022: Quantifying the Land-Based Opportunity Carbon Costs of Onshore Wind Farms
- [17] McCall et al 2023: Vegetation Management Cost and Maintenance Implications of Different Ground Covers at Utility-Scale Solar Sites
- [19] Duran et al 2022: Cleaning after Solar Panels: Applying a Circular Outlook to Clean Energy Research
- [20] Bellut-Staack 2024: Chronic Infrasound Impact
- [21] Nover et al 2017: Long-Term Leaching of Photovoltaic Modules
- [22] Nguyen et al 2021: Benchmark Characterisation and Automated Detection of Wind Farm Noise Amplitude Modulation

Die Auswirkungen der von unseren Energiesystemen emittierten Treibhausgase auf das Klima werden in diesem Artikel nicht behandelt, aber dazu empfehle ich Prof. Koonins Buch „**Unsettled**“ oder Kapitel 4.3 in unserem kürzlich aktualisierten Buch „**The Unpopular Truth... about Electricity and the Future of Energy**“.

**Wirtschaftliche Kosten:** Inzwischen wissen wir auch, dass die großen Überbauungen und Hilfssysteme (Speicher, Backup, Netze), die erforderlich sind, um Wind- und Solarenergie nutzbar zu machen, mit hohen wirtschaftlichen Kosten verbunden sind, was man in Deutschland nur zu gut weiß.

Das renommierte Energiewirtschaftliche Institut (EWI) und der Thinktank der Universität Köln haben zusammengefasst, wie viel Geld nötig ist, damit die deutsche „Energiewende“ auf Kurs bleibt. Laut der EWI-Analyse muss Deutschland bis 2030 über 2 Billionen Euro – oder **2.000 Milliarden Euro oder 100.000 Euro pro vierköpfige Familie** – investieren, um seine „grünen“ Versprechen einzuhalten. Diese schwindelerregende Zahl stellt die vom Handelsblatt im Januar 2024 geschätzten 1,1 Billionen Euro bis 2045 (zu niedrig) fast in den Schatten. Einzelheiten findet man [hier](#).

Die vorliegende Analyse erklärt auch, warum die Aussage „**Wind und Sonne sind am billigsten und am saubersten**“ nur auf der Basis der Grenzkosten stimmt, nicht aber auf der Ebene der Systemkosten, die für Strom relevant sind. Denn **Strom ist eine Dienstleistung (kWh auf Abruf, wenn man sie braucht) und kein Produkt (kWh)**. Die berühmte LCOE-Kostenmetrik ( Levelized Cost of Electricity ) behandelt Strom jedoch als Produkt (kWh) und berücksichtigt keinen der in diesem Beitrag genannten Punkte. Weitere Einzelheiten finden Sie in meinem veröffentlichten Artikel [Das Energie-Trilemma](#).

**Kosten für die Menschen** Die wirtschaftlichen Kosten wirken sich nicht nur direkt auf die Industrie aus (siehe die Deindustrialisierung in Deutschland, Quelle [25]), sondern auch auf die Bürger, insbesondere die weniger wohlhabenden. Es liegt auf der Hand, **dass hohe Energiekosten und die daraus resultierenden Steuern die finanziell Schwächeren stärker belastet**. In Deutschland bestätigte der Bundesrechnungshof, dass die Energiearmut zugenommen hat und im Jahr 2023 25 % der Haushalte betroffen sein werden, während es 2021 noch 15 % waren [26]. Nach Angaben des Economist könnte teure Energie im Winter 2022/2023 mehr Europäer getötet haben als Covid-19 [27].

Stellen Sie sich nun vor, was höhere Energiekosten für Menschen in Afrika, Pakistan oder Bangladesch bedeuten? Es kommt nicht überraschend, dass die Energiearmut in Afrika, die 20 Jahre lang stagnierte, seit 2021 zunimmt.

Menschen mit weniger oder ganz ohne Energie sind ärmer, sie leben ungesünder, und ungesunde Menschen haben eine geringere Lebenserwartung. Wie viele Menschen sterben also an den gestiegenen Energiekosten? Wer hat diese „kleine“ Frage im Zusammenhang mit der „Energiewende“ jemals durchgerechnet?

Um diese Herausforderungen zu bewältigen, sind meine Empfehlungen einfach, aber wirkungsvoll:

1. **Investitionen in Forschung und Entwicklung:** Durch die Bereitstellung von Mitteln für innovative Forschung und Entwicklung können wir auf eine Energiezukunft hinarbeiten, die sowohl wirtschaftlich tragfähig als auch ökologisch nachhaltig ist. Eine „Neue Energierevolution“ wird es uns ermöglichen, von fossilen Brennstoffen wegzukommen, ohne die Kompromisse einzugehen, die derzeit von Wind- und Solarlösungen verlangt werden.

2. **Bestehende Energiesysteme verbessern:** Bis die „Neue Energierevolution“ Realität wird, müssen Investitionen in und die Verbesserung unserer derzeitigen Energieinfrastruktur dazu beitragen, den heutigen und zukünftigen Energiebedarf zu decken. Indem wir diese Systeme effizienter machen, können wir ihren ökologischen Fußabdruck verringern und gleichzeitig eine zuverlässige Energieversorgung sicherstellen.

Diese Schritte sind die Grundlage für einen ausgewogenen Ansatz zur Verwirklichung einer nachhaltigen Energieversorgung, ohne dabei die wirtschaftliche Stabilität oder die Umwelt zu beeinträchtigen.

## 5. Quellenangaben

- [1] Zacher & Rudolph 2023: Environmental Knowledge Is Inversely Associated with *Climate Change Anxiety*.” *Climatic Change* 176, Mar 2023, <https://doi.org/10.1007/s10584-023-03518-z>.
- [2] “Germany’s Economy Is on Track to Shrink for a Second Straight Year | AP News.” October 2024. <https://apnews.com/article/germany-economy-gdp-recession-government-a4d30f2e398d12afbd793d69c5ac76de>.
- [3] “IEA: World Energy Outlook 2024 – Analysis,” October 2024. <https://www.iea.org/reports/world-energy-outlook-2024>.
- [4] “IEA: Southeast Asia Energy Outlook 2024 – Analysis,” October 2024. <https://www.iea.org/reports/southeast-asia-energy-outlook-2024>.
- [5] “ACE Assessment Role of Coal in ASEAN Energy Transition, Coal-Phase-Out,” May 2024. [https://aseanenergy.org/wp-content/uploads/2024/05/ACE\\_Assessment-of-the-Role-of-Coal-in-the-ASEAN-Energy-Transition-and-Coal-Phase-out.pdf](https://aseanenergy.org/wp-content/uploads/2024/05/ACE_Assessment-of-the-Role-of-Coal-in-the-ASEAN-Energy-Transition-and-Coal-Phase-out.pdf).
- [6] Michael Moore: Planet of the Humans | Full Documentary | Directed by Jeff Gibbs, 2022. <https://www.youtube.com/watch?v=Zk11vl-7czE>.
- [6b] Miller Keith 2019 – Observation-Based Solar and Wind Power Capacity Factors and Power Densities, Jul 2019, <https://doi.org/10.1088/1748-9326/aae102>.
- [7] Zalk Behrens 2018: [The Spatial Extent of Renewable and Non-Renewable Power Generation: A Review and Meta-Analysis of Power Densities and Their Application in the U.S.](#); *Energy Policy* 123 (December 2018): 83–91.
- [8] Mueller et al 2023: A Comparative Life Cycle Assessment of Silicon PV Modules: Impact of Module Design, Manufacturing Location and Inventory.” [Solar Energy Materials and Solar Cells](#) 230 (Sep 2021),.
- [9] NREL 2021: A Circular Economy for Solar Photovoltaic System Materials: Drivers, Barriers, Enablers, and U.S. Policy Considerations,” March 2021. <https://doi.org/10.2172/1774574>
- [10] ISF UTS 2020, Scoping Study for Photovoltaic Panel and Battery System Reuse and Recycling Fund, Institute for Sustainable Futures (ISF) and [University of Technology Sydney](#), March 2020.
- [11] Libra et al 2023: Reduced Real Lifetime of PV Panels – [Economic Consequences](#), *Solar Energy* 259 (July 2023): 229–34.
- [12] IER 2024, Wind Turbines and Solar Panels Are Aging Prematurely, [February 2024](#).
- [13] Duran et al 2022: Cleaning after Solar Panels: Applying a Circular Outlook to Clean Energy Research.” [International Journal of Production Research](#) 60, no. 1 (January 2022): 211–30.
- [14] ScienceDaily. “[Aging Offshore Wind Turbines Could Stunt Growth of Renewable Energy Sector](#),” 2021
- [15] [Bolson et al 2022](#): Capacity Factors for Electrical Power Generation from Renewable and Nonrenewable Sources
- [16] IEA on Twitter <https://iea.li/3nl3wDy>.
- [17] [Albanito et al 2022](#): Quantifying the Land-Based Opportunity Carbon Costs of Onshore Wind Farms, Aug 2022,
- [18] McCall et al 2023: Vegetation Management Cost and Maintenance Implications of Different Ground Covers at Utility-Scale Solar Sites, Jan 2023, <https://doi.org/10.3390/su15075895>.
- [19] Long et al 2024: Large-Scale Photovoltaic Solar Farms in the Sahara Affect Solar Power Generation Potential Globally, Jan 2024, <https://doi.org/10.1038/s43247-023-01117-5>.
- [20] Duran et al 2022: Cleaning after Solar Panels: [Applying a Circular Outlook to Clean Energy Research](#), Jan 2022,
- [21] [Bellut-Staeck 2024](#): Chronic Infrasound Impact Is Suspected of Causing Irregular Information via Endothelial Mechano-Transduction and Far-Reaching Disturbance of Vascular Regulation in All Organisms, Jun 2024,
- [22] Nover et al 2017: [Long-Term Leaching of Photovoltaic Modules](#), Jul 2017,.
- [23] Nguyen et al 2021: [Benchmark Characterisation and Automated Detection of Wind Farm Noise Amplitude Modulation](#), Dec 2021,.
- [24] HBR-INSEAD: The Dark Side of Solar Power.” [Harvard Business Review](#), June 2021.
- [25] Bloomberg: [Germany’s Days as an Industrial Superpower Are Coming to an End](#). Feb 2024.
- [26] Schernikau, Lars. “on Germany’s Chief Government Auditor.” [LinkedIn](#), Mar 2024,.
- [27] The Economist. “Expensive Energy May Have Killed More Europeans than Covid-19 Last Winter.” Accessed September 16, 2023. <https://www.economist.com/graphic-detail/2023/05/10/expensive-energy-may-have-killed-more-europeans-than-covid-19-last-winter>.
- [28] Characterization of alloying components in galvanic anodes as potential [environmental tracers for heavy metal](#) emissions from offshore wind structures.