

# **Fermi-Schätzung zur Ermittlung des Potentials für erneuerbare Energien in Deutschland**

Dipl.-Ing. Univ. Michael Klotsche

Datum: 05.04.23

Rudolf-Breitscheid-Straße 6  
02727 Ebersbach-Neugersdorf  
mk@ib-klotsche.de

230405\_Fermi-Schaetzung-Potential-Erneuerbare\_020.odt

## Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung.....	3
2. Kategorisierung der Energie.....	4
3. Endenergiebedarf.....	6
4. Flächenpotential der Windenergie.....	7
5. Potential der Solarenergie.....	12
6. Potential der Biomasse.....	13
7. Energiepotential mit Energiespeicherung und Heizperiode.....	13
8. Auswertung der Ergebnisse.....	15
Fazit.....	19

# 1. Einleitung

Was ist eine Fermi-Schätzung?

Der Physiker Enrico Fermi war dafür bekannt, dass er bei Fragen, für die nur wenig verlässliche Daten zu Verfügung standen, erstaunlich gute Schätzungen abgeben konnte. Dabei hat er eine Frage, die beantwortet werden musste, in Teilfragen zerlegt. Das hat er so lange gemacht, bis für die Teilfragen die physikalischen Zusammenhänge bekannt waren und plausible Zahlenwerte vorlagen. Ich möchte das an folgender Beispielfrage erklären: Wie viele Bestatter gibt es in Neugersdorf?

Für diese Frage liegen mir keine Zahlen vor. Ich weiß aber, dass Neugersdorf ca 5000 Einwohner hat. Die Lebenserwartung liegt bei ca 80 Jahren. Das bedeutet, dass in einem Jahr ca 63 Menschen sterben. Das bedeutet, dass pro Monat ca 5 Menschen sterben.

Weiterhin sei angenommen, dass ein selbständiger Bestatter im Jahr 50000 € Umsatz machen muss. Weiterhin sei angenommen, dass die Versorgung eines Toten 2000 € kostet. Um den nötigen Umsatz zu erreichen, muss ein Bestatter ca 2 Tote im Monat versorgen. Das bedeutet, dass es in Neugersdorf eins bis zwei Bestatter geben müsste. Drei, vier oder fünf wären zu viele. Die Suche bei Google ergibt, dass es zwei Bestatter gibt.

Eine Fermi-Schätzung hat nicht den Anspruch, exakte Werte zu liefern, sondern Größenordnungen zu bestimmen, die unter getroffenen Annahmen zu erwarten sind. Wenn die Fermi-Schätzung im Gegenzug Werte liefert, die von der Realität um Größenordnungen abweichen, können die Annahmen der Schätzung gezielt geprüft werden. Auch hier kommen oft überraschende Erkenntnisse zu Tage.

Wieso ist eine Fermi-Schätzung für das Potential der Erneuerbaren Energien sinnvoll?

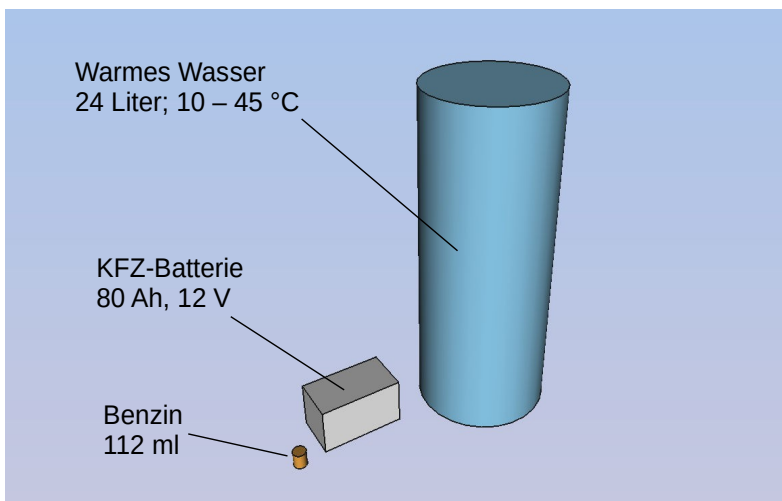
Meiner Ansicht nach ist unser Denken in Deutschland heutzutage so stark von Ideologien geprägt, dass ich mittlerweile keiner Statistik mehr vertraue, die ich nicht selbst erstellt habe. Mittlerweile scheint es mir so, als ob es keinen Bereich mehr gibt, der nicht ideologisch durchsetzt ist. Die auffälligsten Beispiele sind hier die durch Gendern verunstaltete Sprache, die Doppelmoral bei der Betrachtung von Kriegen, Diskussionen über das Klima, über das Essen, über intime Details des Privatlebens und über Energie. Ich denke, dass sehr viele Menschen durch das Zerren an ihren Köpfen mittlerweile mürbe sind. Damit ich durch diese ganzen Diskussionen nicht selbst mürbe werde, verlasse ich mich auf physikalische Gleichungen und Zahlenwerte, die ich selbst mit meinen Möglichkeiten experimentell ermitteln kann, oder die meinen Erfahrungen entsprechen. Des weiteren möchte ich Berechnungen durchführen, die für die Öffentlichkeit nachvollziehbar sind und die nicht erst nach eine jahrelanger Einarbeitungszeit verstanden werden können.

Um es klar zu sagen: Die folgenden Berechnungen sind Schätzungen. Schätzungen haben nicht den Anspruch, exakte Werte zu liefern. Sie geben lediglich Überblick über die Größenordnungen und die Grenzbereiche der exakten Werte, die zu erwarten sind.

## 2. Kategorisierung der Energie

Energie ist nicht gleich Energie. Wenn wir über erneuerbare Energien sprechen ist es wichtig zu betrachten, in welcher Form die Energie gebraucht wird und in welcher Form die Energie zu Verfügung steht. Das soll an einem Beispiel veranschaulicht werden.

Eine Autobatterie soll in diesem Beispiel eine Ladungskapazität von 80 Ah bei einer Spannung von 12 V haben. Eine solche Autobatterie enthält somit eine Energiemenge von 0,96 kWh. Genau die gleiche Energiemenge steckt in 112 ml Benzin. Die gleiche Energiemenge ist auch nötig, um ca. 24 Liter Wasser von 10°C auf 45°C zu erwärmen.



In allen drei Fällen liegt die gleiche Energiemenge vor. Der Unterschied zwischen den drei Energieformen liegt darin, dass ich mit der chemischen Energie in der Autobatterie viele verschiedene Dinge machen kann. Ich kann diese Energie in elektrische Energie umwandeln um damit ein Smartphone aufzuladen, einen Motor zu betreiben oder mit einem Tauchsieder Kaffee zu kochen.

Mit der chemischen Energie im Benzin kann ich weniger machen. Ich kann damit einen Benzinmotor betreiben oder mir mit einem Campingkocher Kaffee kochen.

Mit der Energie in dem 45°C warmen Wasser steht mir nur Wasser mit einer geeigneten Temperatur zu Verfügung, damit das Spülmittel das Fett vom schmutzigen Geschirr besser lösen kann. Diese Energieform eignet sich nur noch dazu, um nach dem Abspülen des Geschirrs mit dem Abwasser über die Abwasserleitungen die Kellerräume etwas zu erwärmen. Deshalb teile ich die betrachteten Energiemengen in zwei Kategorien ein:

### **Kategorie I :**

Elektrische Energie, mechanische Energie, chemische Energie, Prozesswärme bei hohen Temperaturen. Die Energieformen der Kategorie I können in andere Energieformen umgewandelt werden oder vielseitig eingesetzt werden. Sie zeichnen sich meist durch eine hohe Energiedichte aus und sind als chemische Energie mit einer hohen Energiedichte speicherbar. Diese Energieformen sind auch meist mit wenig Materialaufwand in eine gut

verfügbare, gespeicherte Form zu bringen. Die Energiedichte gespeicherter Energie der Kategorie I, ist für die ständige Verfügbarkeit von Energie eine entscheidende Größe ist, die oft viel zu wenig beachtet wird.

**Kategorie II :**

Niedertemperaturwärme zwischen 20 °C und 80 °C. Die Energieformen der Kategorie II hingegen sind meist nur als Raumwärme oder zur Bereitung von Warmwasser verwendbar. Die Energiedichte ist niedrig und die Energiespeicherung benötigt viel Platz und eine große Speichermasse. Die Herstellung einer gut verfügbaren, gespeicherten Form ist meist mit einem hohen Materialaufwand verbunden.

**Anmerkung:**

Elektromagnetische Energie selbst ist nur mit größtem Aufwand in kleinen Mengen speicherbar, z.B. in Kondensatoren oder Speicherdrosseln. Auch die Speicherung von mechanischer Energie bedarf eines extrem hohen Materialaufwandes. Speicher, die diese Energieformen speichern, eignen sich vor allem dazu, Energie im Sekundenbereich oder in noch kürzeren Zeiträumen zu speichern. Über solche Speicher werden Spannungsspitzen geglättet oder die Blindleistung in Stromnetzen kompensiert.

### 3. Endenergiebedarf

Unter Endenergie versteht man die Energie, die dem Nutzer zu Verfügung gestellt wird. Die Zahlen für den Endenergiebedarf in Deutschland<sup>1</sup> soll hier gleich zum Anfang in folgender Tabelle aufgeführt werden. Der Endenergiebedarf ist hier nach Einsatzbereich und Wirtschaftssektoren aufgeschlüsselt und soll für weitere Überlegungen in zukünftigen Veröffentlichungen als Nachschlagewerk dienen. Die Abkürzung IKT steht für **I**nformations- und **K**ommunikationstechnik.

Einsatzbereich	Wirtschaftssektor	Summe – 2019 In PJ	Summe – 2019 In TWh
Beleuchtung	Industrie	33,5	9,3
	Private Haushalte	35,9	10,0
	Verkehrssektor	12,7	3,5
IKT	Industrie	31,5	8,8
	Private Haushalte	76,7	21,3
	Verkehrssektor	10,1	2,8
Klimakälte	Gewerbe, Handel, Dienstleistungen	14,9	4,1
	Industrie	17,9	5,0
	Verkehrssektor	5,4	1,5
mechanische Energie	Gewerbe, Handel, Dienstleistungen	236,0	65,6
	Industrie	553,0	153,6
	Private Haushalte	20,8	5,8
	Verkehrssektor	2.683,7	745,5
Prozesskälte	Gewerbe, Handel, Dienstleistungen	53,1	14,7
	Industrie	36,8	10,2
	Private Haushalte	102,6	28,5
Prozesswärme	Gewerbe, Handel, Dienstleistungen	106,1	29,5
	Industrie	1.674,5	465,1
	Private Haushalte	142,7	39,6
	Verkehrssektor	0,0	0,0
Raumwärme	Gewerbe, Handel, Dienstleistungen	567,3	157,6
	Industrie	147,3	40,9
	Private Haushalte	1.658,4	460,7
	Verkehrssektor	12,7	3,5
Warmwasser	Gewerbe, Handel, Dienstleistungen	71,5	19,9
	Industrie	17,2	4,8
	Private Haushalte	383,3	106,5
<b>Summe Ergebnis</b>		<b>8.705,5</b>	<b>2.418,2</b>

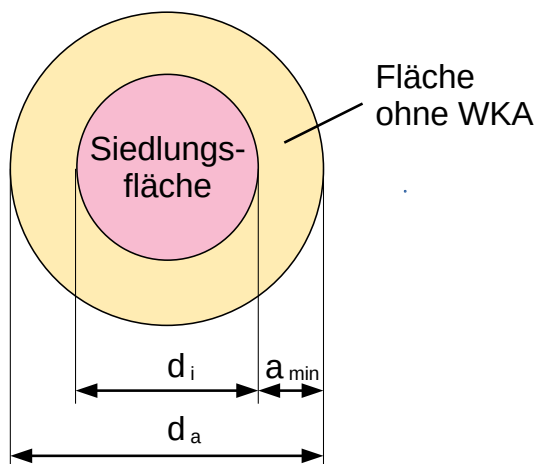
*Schaubild 1: Quelle: Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz. Zahlen und Fakten: Energiedaten*

<sup>1</sup> Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz: Zahlen und Fakten. Energiedaten. Nationale - und internationale Entwicklung. Berlin, 2022

## 4. Flächenpotential der Windenergie

Für die Nutzung der Windkraft, kommen in dieser Annahme nur landwirtschaftlich genutzte Flächen in Frage. Aus Gründen der Vereinfachung soll erst einmal davon ausgegangen werden, dass alle landwirtschaftlich genutzten Flächen auch für Windparks geeignet sind. Das ist in der Praxis nicht der Fall, da Windkraftanlagen bevorzugt auf hochgelegenen Flächen stehen sollten, während viele landwirtschaftlich genutzte Flächen bevorzugt windgeschützt sein dürften.

Die Größe der gesamten landwirtschaftlich genutzten Fläche der Bundesrepublik Deutschland (BRD) <sup>2</sup> beträgt 50,5% der Gesamtfläche der BRD, das heißt 180582 km<sup>2</sup>. Hinzu kommt noch, dass zwischen einem Windpark und Siedlungsgebieten ein Mindestabstand<sup>3</sup> von 1000 m eingehalten werden muss. Auch direkt neben Straßen können aufgrund der Gefahr von Eisabwurf keine Windkraftanlagen aufgestellt werden. Das verringert die nutzbare Fläche für die Gewinnung von Windenergie. Die Frage ist hier, wie stark der Mindestabstand zu Siedlungsflächen die zu Verfügung stehende Flächen von Windparks verringert. Hierzu sollen die Flächen ohne Windkraftanlagen, sowie auch die Siedlungsflächen selbst vereinfacht als Kreisförmig betrachtet werden.



2 [https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/384/bilder/2\\_abb\\_flaechennutzung-d\\_2022-12-14.png](https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/384/bilder/2_abb_flaechennutzung-d_2022-12-14.png)

3 Freistaat Sachsen: Energie- und Klimaprogramm Sachsen 2021. Sächsisches Staatsministerium für Energie, Klimaschutz, Umwelt und Landwirtschaft, 2021

Der Durchmesser der Siedlungsflächen soll über die Einwohnerzahlen und eine angenommene Bevölkerungsdichte in den Siedlungsflächen berechnet werden. Laut dem statistischen Bundesamt verteilen sich die Siedlungsgrößen<sup>4</sup> und die Einwohnerzahlen in der BRD wie folgt:

Einwohnerzahl		Anzahl der Siedlungen
von	bis	
0	100	206
101	199	458
200	499	1425
500	999	1724
1.000	1.999	1825
2.000	2.999	1011
3.000	4.999	1181
5.000	9.999	1357
10.000	19.999	904
20.000	49.999	505
50.000	99.999	113
100.000	199.999	40
200.000	499.999	26
500.000	3.000.000	14

*Schaubild 2: Siedlungsgrößen und Einwohnerzahlen in der BRD*

Zur Abschätzung der verfügbaren Fläche für Windkraftanlagen, werden folgende Formelzeichen verwendet. Test

- $\rho_{EW}$  : Einwohnerdichte in  $1/\text{km}^2$
- $n_{EW, \min, j}$  : Minimale Einwohnerzahl der Siedlungskategorie  $j$
- $n_{EW, \max, j}$  : Maximale Einwohnerzahl der Siedlungskategorie  $j$
- $n_{G, j}$  : Anzahl der Siedlungen in der Kategorie  $j$
- $A_{G, j}$  : Mittlere Siedlungsfläche der Siedlungskategorie  $j$  in  $\text{km}^2$
- $A_{K, j}$  : Fläche des Kreisringes um eine Siedlung der Kategorie  $j$  in  $\text{km}^2$
- $A_L$  : Alle Landwirtschaftlichen Flächen in der BRD in  $\text{km}^2$
- $A_W$  : Fläche, die für Windkraftanlagen zu Verfügung steht in  $\text{km}^2$
- $a_{\min}$  : Mindestabstand zwischen Windkraftanlagen und Siedlungen in km
- $d_{i, j}$  : Siedlungsdurchmesser einer Siedlung der Kategorie  $j$  in km
- $d_{a, j}$  : Außendurchmesser eines Bereichs ohne WKA der Kategorie  $j$  in km

<sup>4</sup> <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/1254/umfrage/anzahl-der-gemeinden-in-deutschland-nach-gemeindegroessenklassen/>



Es gilt:

$$A_{G,j} = \frac{0,5 \cdot (n_{EW,min,j} + n_{EW,max,j})}{\rho_{EW}}$$

$$d_{i,j} = \sqrt{\frac{4 \cdot A_{G,j}}{\pi}}$$

$$d_{a,j} = d_{i,j} + 2 \cdot a_{min}$$

$$A_{K,j} = n_{G,j} \cdot \frac{\pi}{4} \cdot (d_{a,j}^2 - d_{i,j}^2)$$

$$A_W = A_L - \sum_j A_{K,j}$$

Auch wenn die landwirtschaftliche Fläche zwischen den Siedlungen reichlich vorhanden scheint, schrumpft sie bei Erhöhung des Mindestabstandes zwischen Siedlungsgrenzen und Windkraftanlagen schnell zusammen.

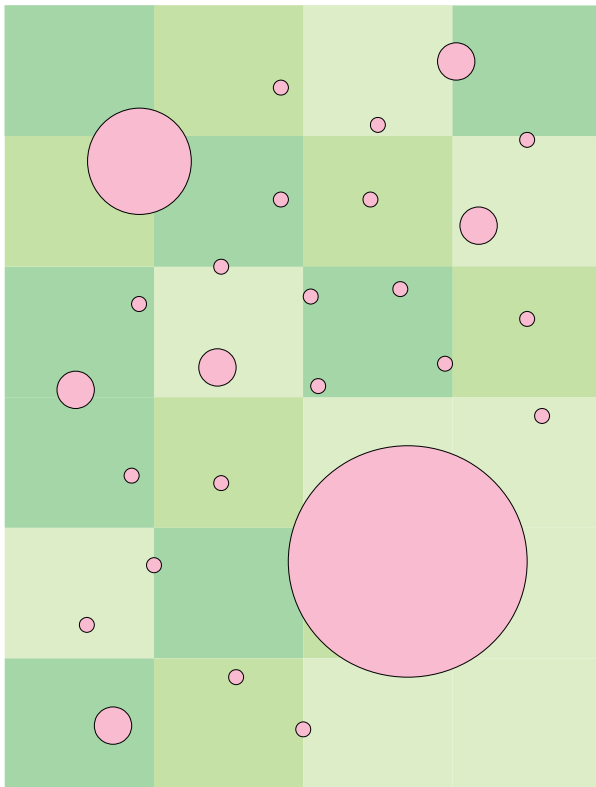


Schaubild 3: Flächen für die Windenergie (grün) ohne Abstand zu Siedlungen

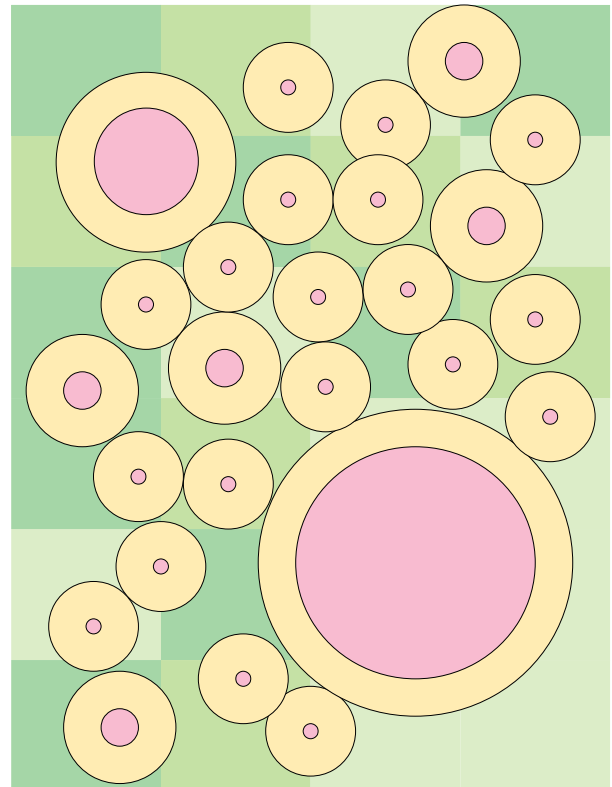
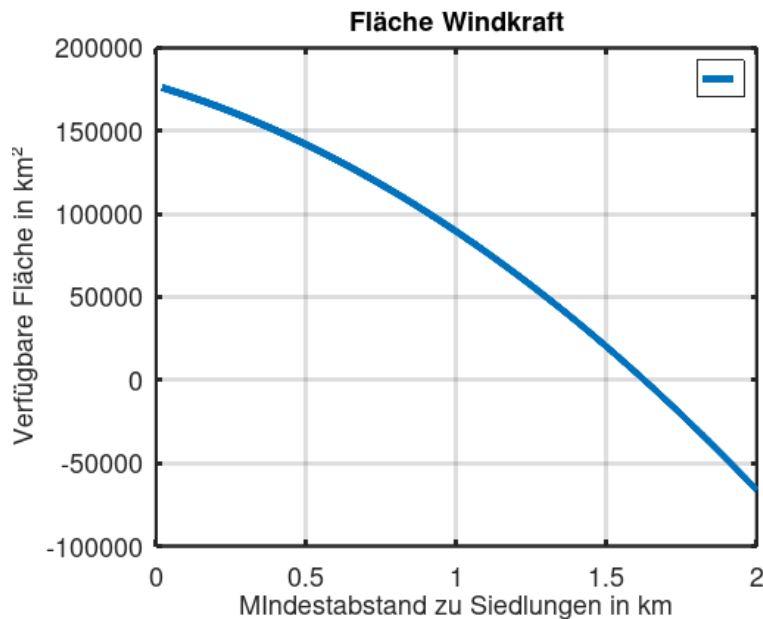


Schaubild 4: Nötige Abstände zu den Siedlungen (gelb) verringern die Fläche für WKA stark.

Wird der Abstand zu zwischen den Siedlungsgrenzen und den Windkraftanlagen variiert, ergibt sich folgendes Diagramm:



*Schaubild 5: Mit zunehmendem Abstand zu Siedlungen schrumpft die verfügbare landwirtschaftliche Fläche für WKA*

An diesem Diagramm wird deutlich, dass sich in einem engen Abstandsbereich zwischen 1 km und 1,7 km entscheidet, ob überhaupt Flächen für die Windenergie zu Verfügung stehen. Angenommen, es sind aufgrund von Berg- und Tallagen nur 50% der landwirtschaftlichen Flächen geeignet. Weiterhin sei angenommen, dass aufgrund der zerfransten Siedlungsränder der Mindestabstand von 1 km zwischen Windkraftanlagen und Siedlungen um 400 m nach außen verschoben wird. Bei der Berücksichtigung dieser Annahmen wird deutlich, warum es so schwierig ist, selbst 2% der Landesfläche der BRD, d.h. 7151 km<sup>2</sup>, für die Windkraft zu nutzen. Das Potential der Windkraft scheint mir mit einer Fläche von 2% der BRD größtenteils ausgeschöpft zu sein.

## Abschätzung des Potentials der Windkraft in der BRD

Heute liegt der Bundesdurchschnitt der Volllaststunden<sup>5</sup> aller Anlage bei 1700 h/a. Es können aber im Mittel auch Volllaststundenzahlen von 2440 h/a erreicht werden. Bei meiner Schätzung möchte ich großzügig für die Energiewende mit einer Volllaststundenzahl von 2500 h/a rechnen.

Dabei werden folgende Formelzeichen verwendet:

$k_A$  : Abstandsfaktor. (In Hauptwindrichtung 6 .. 8. Quer zur Hauptwindrichtung 3 .. 5)

$d_{Rot}$  : Rotordurchmesser in m

$A_W$  : Flächenbedarf aller Windkraftanlagen in  $m^2$

$E_{el,W}$  : Energiepotential für die Windkraft in Wh/a

$P_{WKA}$  : Nennleistung einer Windkraftanlage in W

$n_{WKA}$  : Anzahl der Windkraftanlagen

$t_{Voll}$  : Volllaststundenzahl in h/a

Die folgende Schätzung soll für eine Fläche von 2% der Fläche der BRD und eine Volllaststundenzahl von 2500 h/a betrachtet werden. Die angenommenen Windkraftanlagen (WKA) haben pro WKA eine Nennleistung von 3,5 MW, eine Nabenhöhe von 150 m, einen Rotordurchmesser von 120 m. Die Anzahl der Windkraftanlagen, die auf dieser Fläche Platz haben, errechnet sich nach folgender Gleichung:<sup>6</sup>

$$n_{WKA} = \frac{A_W}{\sqrt{\frac{3}{4}} (k_A \cdot d_{Rot})^2} = \frac{7151 km^2}{\sqrt{\frac{3}{4}} (4 \cdot 0,120 km)^2} = 35839$$

Das Energiepotential für die Windkraft in der BRD ergibt sich aus folgender Gleichung:

$$E_{el,W} = n_{WKA} \cdot P_{WKA} \cdot t_{Voll} = 35839 \cdot 3,5 \cdot 10^6 W \cdot 2500 \frac{h}{a} = 313 \frac{TWh}{a}$$

5 Lütkehus, Insa; Salecker, Hanno; Adlunger, Kirsten; Umweltbundesamt (Hrsg.): Potential der Windenergie an Land. Dessau-Rosslau, 2013. Seite 2

6 Kaltschmitt; Streicher; Wiese: Erneuerbare Energien. Systemtechnik, Wirtschaftlichkeit, Umweltaspekte. 4. Auflage. Springer Verlag. Berlin Heidelberg 2006. Seite 323

## 5. Potential der Solarenergie

Für die Abschätzung des Potentials der verfügbaren Solarenergie soll angenommen werden, dass Solaranlagen auf Siedlungsflächen installiert werden sollen. Das erlaubt die Nutzung von Hybridkollektoren, die auf der selben Fläche elektrische Energie und Wärmeenergie erzeugen können. Die Größe aller Siedlungsflächen inklusive Freiflächen ohne Verkehrswege in der Bundesrepublik Deutschland<sup>7</sup> beträgt 25000 km<sup>2</sup>. Angenommen, die Grundflächen aller Gebäude dieser Siedlungsflächen haben daran einen Anteil von 20%. Für die Berechnung werden folgende Formelzeichen verwendet:

$\tau_{Gr}$ : Flächenanteil der Gebäudegrundflächen an den Siedlungsflächen

$\eta_{PV}$ : Elektrischer Wirkungsgrad der Photovoltaik

$\eta_{th}$ : Thermischer Wirkungsgrad der Solarthermie eines Hybridkollektors

$A_{Sied}$ : Summe aller Siedlungsflächen ohne Verkehrsflächen in der BRD in km<sup>2</sup>

$q_S$ : Globalstrahlungsdichte der Sonnenstrahlung horizontal in kWh/(m<sup>2</sup> a)

$E_{G,S}$ : Globalstrahlung auf alle Gebäudegrundflächen in TWh/a

$E_{el,S}$ : Elektrische Energie der Photovoltaik in der BRD in TWh/a

$E_{th,S}$ : Thermische Energie der Hybridkollektoren in der BRD in TWh/a

Dann kann die gesamte Sonnenenergie (Globalstrahlung), die auf diese horizontale Fläche fällt, wie folgt überschlägig berechnet werden:

$$E_{G,S} = \tau_{Gr} \cdot A_{Sied} \cdot q_S = 0,2 \cdot 25000 \cdot 10^6 m^2 \cdot 1 \frac{MWh}{m^2 a} = 5000 \frac{TWh}{a}$$

Über Photovoltaik kann dann die Globalstrahlung in elektrischen Strom umgewandelt werden. Der Wirkungsgrad der Photovoltaik wird dabei mit 20 % angenommen. Die Menge der verfügbaren elektrischen Energie aus Photovoltaik ergibt sich dann wie folgt:

$$E_{el,S} = \eta_{PV} \cdot E_{S,G} = 0,2 \cdot 5000 \frac{TWh}{a} = 1000 \frac{TWh}{a}$$

Über Hybridkollektoren kann über die Photovoltaikflächen gleichzeitig Wärmeenergie mit einer Temperatur zwischen 20°C und 80°C gewonnen werden. Der angenommene Wirkungsgrad soll hier bei 60% liegen. Das Problem der Energiespeicherung soll hier erst einmal noch nicht berücksichtigt werden, weil die Art der Energiespeicherung stark vom Zeitpunkt der Energiegewinnung und der Energienutzung abhängt. Das Potential der Solarthermie ergibt sich dann wie folgt:

$$E_{th,S} = \eta_{th} \cdot (E_{S,G} - E_{el,S}) = 0,6 \cdot \left( 5000 \frac{TWh}{a} - 1000 \frac{TWh}{a} \right) = 2400 \frac{TWh}{a}$$

<sup>7</sup> <https://www.umweltbundesamt.de/daten/flaeche-boden-land-oekosysteme/flaeche/siedlungs-verkehrsflaeche>

## 6. Potential der Biomasse

Der Primärenergieverbrauch an Biomasse lag in Deutschland <sup>8</sup> im Jahr 2018 für feste- und gasförmige Biomasse bei 837 PJ/a und für Biokraftstoffe bei 123 PJ/a. Das entspricht einer gesamten Primärenergie aus Biomasse von 960 PJ/a bzw. 267 TWh/a. Angenommen, der elektrische Wirkungsgrad bei der Umwandlung von Primärenergie aus Biomasse in elektrische Energie beträgt 35%. Dann ergeben sich für die Energieformen der Kategorie I und II aus Biomasse folgende Zahlen:

Biomasse gesamt:	267 TWh/a
Biomasse elektrisch:	93 TWh/a
Biomasse thermisch:	174 TWh/a

Die Energie aus Biomasse hat den entscheidenden Vorteil, dass sie bereits gespeicherte Energie ist, die auch in der Heizperiode verfügbar ist.

## 7. Energiepotential mit Energiespeicherung und Heizperiode

Bei unserer Wirtschaftsweise muss Energie zu jedem Zeitpunkt zu Verfügung stehen. Deshalb ist die Energiespeicherung von essentieller Bedeutung. Als erstes sollte der Wirkungsgrad für die Energiespeicherung abgeschätzt werden. Dabei soll in einem extremen Szenario davon ausgegangen werden, dass die Energiespeicherung in Form von synthetischem Methanol stattfindet. Diese Annahme soll berücksichtigen, dass bei unserer heutigen Wirtschaftsweise Energie zu jedem Zeitpunkt mit hoher Energiedichte zu Verfügung stehen muss.

Für die Umwandlung von elektrischem Strom aus Erneuerbaren Energien in Methanol soll ein Wirkungsgrad von 60% angenommen werden. Die Umwandlung von Methanol in elektrische Energie oder mechanische Energie soll mit einem Wirkungsgrad von 35% angenommen werden. Somit ergibt sich ein Gesamtwirkungsgrad der Energiespeicherung von 21%. Die saisonale Speicherung von Wärmeenergie bei niedrigen Temperaturen soll hier aufgrund der geringen Energiedichte nicht berücksichtigt werden. Niedertemperaturwärme ist nur in der Übergangsphase direkt nutzbar, aber nicht über einen langen Zeitraum wirtschaftlich speicherbar. Der Anteil an solarthermischer Energie<sup>9</sup>, der in der Heizperiode nutzbar ist, liegt bei 32% des gesamten Potentials der solarthermischer Energie des gesamten Jahres.

---

<sup>8</sup> Bundesministerium für Wirtschaft und Energie: Energiedaten Gesamtausgabe. Stand Oktober 2019

<sup>9</sup> DIN V 18599-10. Seite 22. Tabelle 7. Strahlung auf einer horizontale Fläche.

Für die Gleichungen werden folgende Formelzeichen verwendet:

$\eta_{Ch}$  : Wirkungsgrad der Umwandlung von elektrischer- in chemischer Energie.

$\eta_{BHKW}$  : Elektrischer Wirkungsgrad der Blockheizkraftwerke

$\tau_{HP}$  : Anteil der Sonnenstrahlung, die während der Heizperiode eintrifft.

$E_{el,S}$  : Elektrische Energie der Photovoltaik in der BRD in TWh/a

$E_{th,S}$  : Thermische Energie der Hybridkollektoren in TWh

$E_{th,S,HP}$  : Thermische Energie der Hybridkollektoren in der Heizperiode in TWh

$E_{Ch}$  : Chemische Bindungsenergie in TWh

$E_{th,Ch}$  : Abwärme der Umwandlung in chemischer Energie in TWh

$E_{th,Ch,HP}$  : Abwärme der Umwandlung in chemischer Energie in der Heizperiode in TWh

$E_{el,BHKW}$  : Elektrische Energie, die in Blockheizkraftwerken erzeugt wird in TWh

$E_{th,BHKW}$  : Abwärme der Blockheizkraftwerke in TWh

$E_{th,BHKW,HP}$  : Abwärme der Blockheizkraftwerke während der Heizperiode in TWh

$E_{Bio}$  : Energie der Biomasse in TWh

$E_{th,Bio}$  : Thermische Energie der Biomasse in TWh

Die Energiemenge, die durch die Umwandlung von elektrischem Strom aus Erneuerbaren Energien in Methanol gespeichert wird, ergibt sich aus folgender Gleichung:

$$E_{Ch} = \eta_{Ch} \cdot (E_{el,S} + E_W) = 0,6 \cdot \left( 1000 \frac{TWh}{a} + 313 \frac{TWh}{a} \right) = 788 \frac{TWh}{a}$$

Die Niedertemperaturwärme, die bei der Umwandlung von elektrischem Strom in Methanol anfällt, wird nach folgender Gleichung überschlägig berechnet.

$$E_{th,Ch} = (1 - \eta_{Ch}) \cdot (E_{el,S} + E_W) = (1 - 0,6) \cdot \left( 1000 \frac{TWh}{a} + 313 \frac{TWh}{a} \right) = 525 \frac{TWh}{a}$$

Die gespeicherte chemische Energie im Methanol soll in dieser Schätzung in Blockheizkraftwerken (BHKW) in elektrische Energie umgewandelt werden.

$$E_{el,BHKW} = \eta_{el,BHKW} \cdot (E_{Ch} + E_{Bio}) = 0,35 \cdot \left( 788 \frac{TWh}{a} + 267 \frac{TWh}{a} \right) = 369 \frac{TWh}{a}$$

Die Abwärme der BHKW berechnet sich nach:

$$E_{th,BHKW} = (1 - \eta_{el,BHKW}) \cdot (E_{Ch} + E_{Bio}) = (1 - 0,35) \cdot \left( 788 \frac{TWh}{a} + 267 \frac{TWh}{a} \right) = 686 \frac{TWh}{a}$$

Die Abwärme aus der Umwandlung von elektrischer Energie in Methanol, sowie die Abwärme aus der Umwandlung der chemischen Energie des Methanols in elektrische Energie, kann hauptsächlich nur während der Heizperiode genutzt werden. Für die thermische Energie, die während der Heizperiode anfällt gilt:

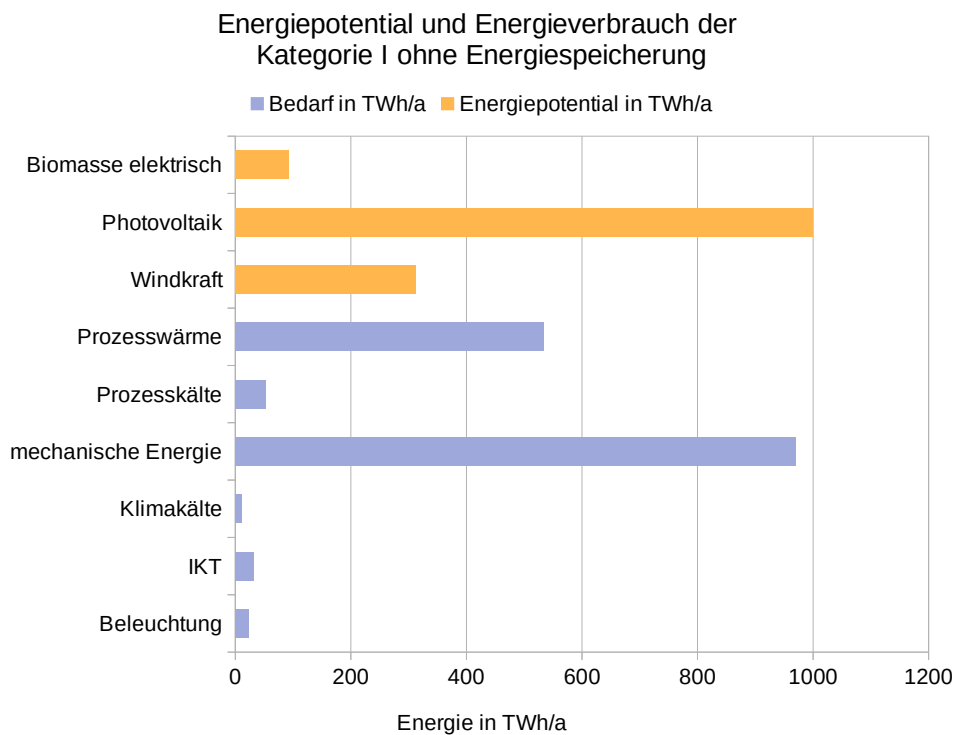
$$E_{th,Ch,HP} = E_{th,Ch} \cdot \tau_{HP} = 525 \frac{TWh}{a} \cdot 0,32 = 168 \frac{TWh}{a}$$

$$E_{th,BHKW,HP} = E_{th,BHKW} \cdot \tau_{HP} = 686 \frac{TWh}{a} \cdot 0,32 = 220 \frac{TWh}{a}$$

$$E_{th,S,HP} = E_{th,S} \cdot \tau_{HP} = 2400 \frac{TWh}{a} \cdot 0,32 = 768 \frac{TWh}{a}$$

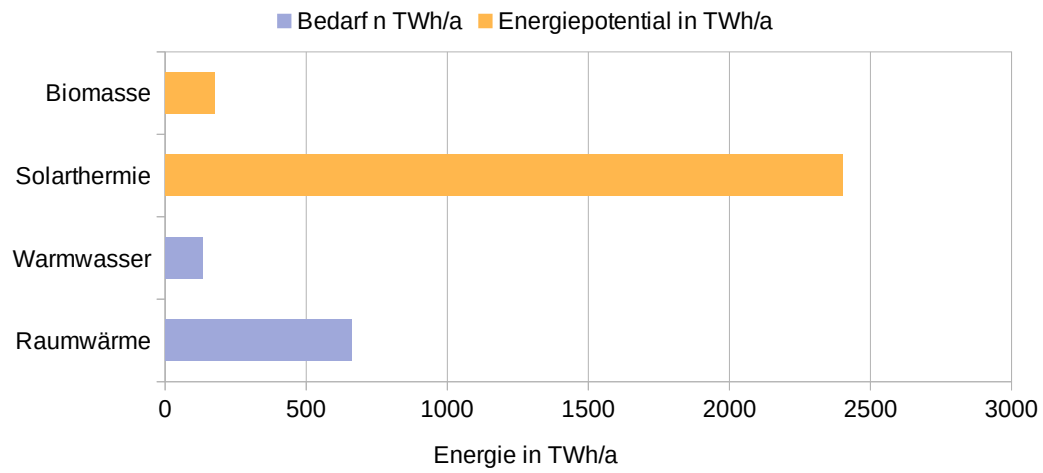
## 8. Auswertung der Ergebnisse

In folgenden Diagrammen sollen die Potentiale der erneuerbaren Energien dem Energieverbrauch gegenübergestellt werden. Dabei werden die Energieformen der Kategorie I und der Kategorie II getrennt gegenübergestellt. Im folgenden Diagramm sollen die erneuerbaren Energien ohne den Wirkungsgrad der Energiespeicherung betrachtet werden.



Hier wird deutlich dass die Energieformen der Kategorie I von der bezüglich der Größenordnung ähnlich hoch sind.

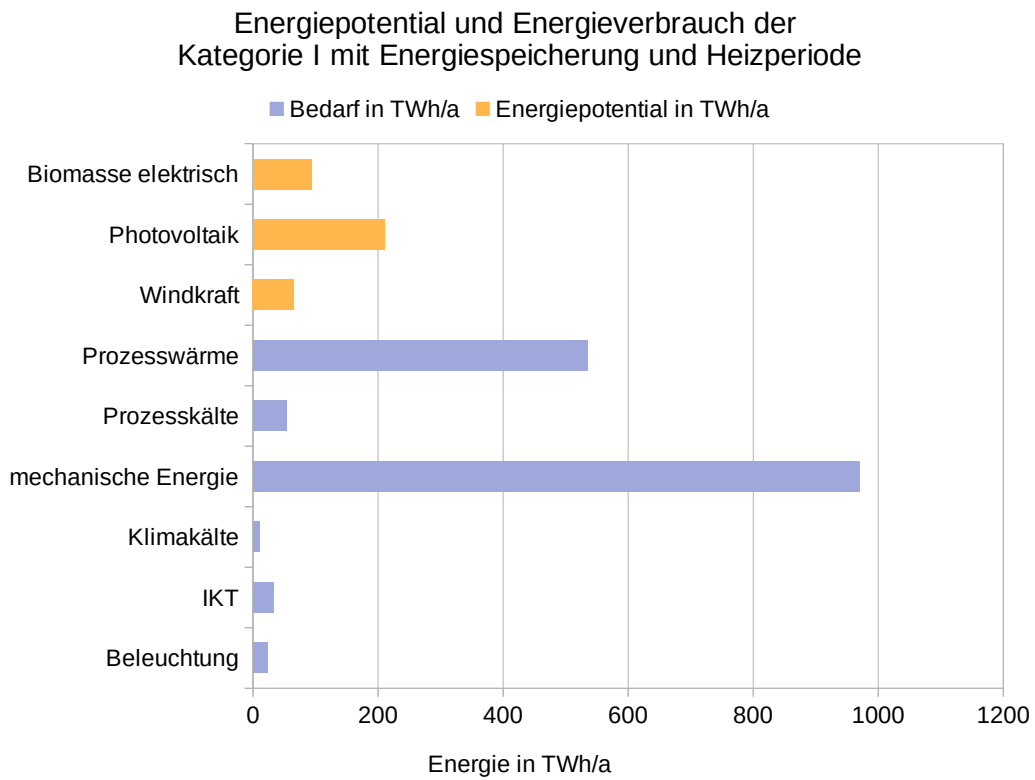
### Energiepotential und Energieverbrauch der Kategorie II ohne Energiespeicherung



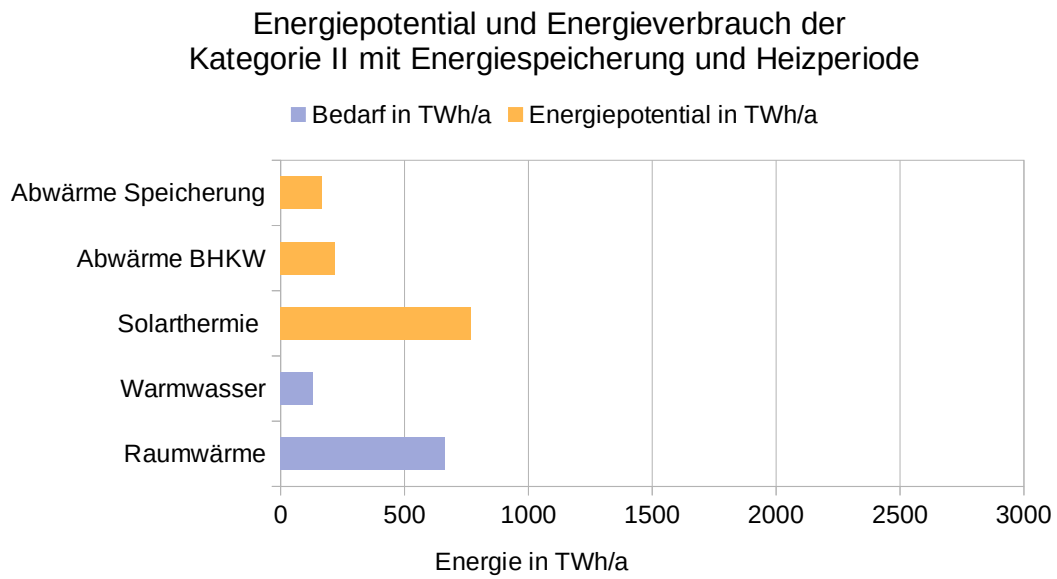
Die erneuerbaren Energieformen der Kategorie II sind reichlich vorhanden, solange die Verluste der Energiespeicherung nicht berücksichtigt werden.



Wird der Energiebedarf dem Energiepotential der erneuerbaren Energien mit Berücksichtigung eines Energiespeicherwirkungsgrades von angenommen 21% gegenübergestellt, so ergibt sich folgendes Diagramm.



Die Abwärme ist eine Energieform, die ich in die Kategorie II eingeordnet habe. Diese wird in diese Betrachtung hauptsächlich während der Heizperiode genutzt. Die Auswirkungen der Nutzung der Abwärme in der Heizperiode ist in folgendem Diagramm sichtbar.



## Fazit

Das Potential der erneuerbaren Energien kann im Bereich zwischen den beiden untersuchten Grenzfällen betrachtet werden. Lässt man das Problem der Energiespeicherung und der starken Leistungsschwankungen der erneuerbaren Energien beiseite, so liegt das Angebot an erneuerbaren Energien in der gleichen Größenordnung wie der heutige Energiebedarf. Das könnte bei oberflächlicher Betrachtung dazu führen, die Energiewende in Deutschland als unproblematisch zu sehen.

Berücksichtigt man das Problem der zwingend notwendigen Energiespeicherung, so reicht das Angebot von ständig verfügbarer erneuerbarer Energie bei weitem nicht aus, um den heutigen Energiebedarf zu decken. Die machbare Energiewende dürfte zwischen diesen beiden Extremen liegen.

In Anbetracht der Zahlen aus der vorliegenden Schätzung, lassen sich für mich beispielhaft folgende Maßnahmen zur Realisierung einer wirklichen Energiewende ableiten. Diese Maßnahmen könnten von jedem Menschen ab jetzt begonnen werden und benötigen **keine** totalitäre Regierung, die diese mit Gewalt durchsetzt. Es reicht aus, wenn die Regierung günstige Rahmenbedingungen für die Energiewende schafft. Folgende Maßnahmen zur Realisierung der Energiewende möchte ich hier nennen:

1. Entwicklung von Dankbarkeit und Wertschätzung für die Dinge, die uns zu Verfügung stehen.
2. Umstellung des Produktionsschwerpunktes auf immaterielle Güter, wie Wissenschaft, Forschung, Entwicklung, Kunst und Kultur.
3. Vorantreiben der Automatisierung, damit die Menschen mehr Zeit für kreative Arbeit haben. Wenn zum Beispiel Einkaufsmärkte vollautomatisch funktionieren, haben die Verkäufer mehr Zeit, sich mit den Kunden zu unterhalten. So werden Einkaufsmärkte wieder Orte, wo Menschen sich treffen.
4. Verlegung von energieintensiver Produktion nach Möglichkeit in die Sommermonate.
5. Produktion von langlebigen Gütern von hoher Qualität, die über Generationen halten.
6. Vermeiden von Einwegprodukten.
7. Entwicklung von vollständigen Recyclingsystemen für alle Güter. Dabei sollte das Downcycling vermieden werden.
8. Vermeiden von langen Lieferwegen und unnötigem Berufsverkehr. Einrichtung von Coworking-Spaces, dort wo es möglich ist, um lange Fahrtwege zum Arbeitsort zu vermeiden. Dadurch kann der Vereinsamung im Home-Office entgegengewirkt werden.
9. Entwicklung von leichten Kraftfahrzeugen, die den Anforderungen der Nutzung angepasst sind. Für einen Nutzer, der ein mal die Woche in den Nachbarort zum Einkaufen fährt, macht ein Fahrzeug, das für lange Strecken und hohe Geschwindigkeiten ausgelegt ist, unter Umständen keinen Sinn.

10. Entwicklung von leichten Elektroautos für die Menschen, die nur kurze Strecken fahren möchten. Das Laden dieser Elektroautos sollte über die Photovoltaikanlage am Wohnhaus erfolgen.
11. Nutzung von synthetischen Kraftstoffen in Kraftfahrzeugen mit Verbrennungsmotoren.
12. Errichtung von Photovoltaikanlagen mit Solarhybridkollektoren und Photovoltaikmodulen auf Hausdächern, die für den Inselbetrieb geeignet sind. Das bedeutet, dass in den Haushalten dementsprechend Energiespeicher mit kurzen Ladezyklen zu Verfügung stehen.
13. Entwicklung von Solarzellen mit hohen Wirkungsgraden.
14. Entwicklung von Akkumulatoren für Speicher mit kurzen Ladezyklen, die keine problematischen Stoffe enthalten.
15. Entwicklung von Verfahren zur Herstellung von synthetischen Kraftstoffen.
16. Entwicklung von Systeme zur Nutzung von Abwärme.
17. Aufbau von Anlagen zur Erzeugung synthetischer Kraftstoffe aus Solar- und Windstrom.
18. Nutzung von Blockheizkraftwerken zur Heizung von Gebäuden.
19. Bau von Heizungssystemen und Gebäuden, die es erlauben, Teile von Gebäuden nicht zu beheizen, ohne dass Frost- oder Feuchteschäden entstehen.

Wie auch immer, der Weg der Energiewende dürfte äußerst komplex und vielfältig sein. Eine von oben herab gewaltsam angeordnete Energiewende wird mit Sicherheit zu einer Doppelmoral führen, die nur Fremdscham verursachen wird. Schlimmstenfalls führt sie in den Totalitarismus. Eine Energiewende muss sich über Generationen hinweg entwickeln. Für die Zeit dieser Entwicklung, sind die fossilen Energien zwingend nötig.

Ich habe leider den Eindruck, als ob unsere Regierung in Deutschland in ihrem Größenwahn davon ausgeht, dass wir in Europa bereits unabhängig von den Rohstoffen anderer Länder sind. Diese Regierung fördert Kriege gegen die Länder, die uns in der Vergangenheit unseren Wohlstand ermöglicht haben und verlässt sich dabei auf die reichlich verfügbare Energie aus Wind und Sonne, die nicht vorhanden ist. Ich hoffe, dass die Berechnungen in der vorliegenden Publikation dazu beitragen, die Öffentlichkeit aufzuklären.