

# **Kurvendiskussion zur Gebäudeheizung und Betrachtung der Energiewende**

Dipl.-Ing. Univ. Michael Klotsche

Datum: 03.03.23

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

## Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung.....	3
2. Energiewende durch Sonnenenergie.....	3
3. Energiewende durch Windenergie.....	6
4. Aufstellen der Gleichungen für den Heizenergieverbrauch.....	8
5. Kurvendiskussion.....	10
6. Ausblick.....	13

# 1. Einleitung

Ich bin davon überzeugt, dass wir erst dann aufhören, Kriege in den Ländern anzuzetteln, in denen die Ressourcen liegen, wenn wir nicht mehr abhängig von den Ressourcen anderer Länder sind. Deshalb halte ich die Energiewende für notwendig, wenn sie nicht nach ideologischen Richtlinien sondern nach physikalischen Erkenntnissen durchgeführt wird. Aus diesem Grund möchte ich in diesem Artikel beispielhaft das Problem der Beheizung von Gebäuden so stark vereinfacht betrachten, dass die Verhältnisse der Energieströme leichter sichtbar werden.

Ich möchte weiterhin durch das Darstellen der Verhältnisse zwischen dem Energieangebot an Sonne und Wind auf der einen Seite und dem maßlosen Energieverbrauch auf der anderen Seite zeigen, dass die Energiewende bei unserer jetzigen Wirtschaftsweise eine Illusion mit viel Ideologie ist. Auch wenn man einwendet, dass wir ja einen Energiemix aus Sonne, Wind und anderen erneuerbaren Energien nutzen können, bleibt das Missverhältnis zwischen Angebot und dem maßlosen Verbrauch bestehen. Eine wirkliche Energiewende muss so aussehen, dass der Energiebedarf mit erneuerbaren Energien gedeckt werden kann, ohne an die Grenzen des physikalisch und gesellschaftlich Machbaren zu gehen. Gleichzeitig muss ein angenehmes Leben ohne Askese für alle Menschen in Deutschland möglich sein. Die Energiewende darf auch nicht auf Kosten anderer Länder gehen oder auf den Ressourcen anderer Länder aufbauen.

## 2. Energiewende durch Sonnenenergie

In Deutschland liegt der Endenergiebedarf<sup>1</sup> bei 9329 PJ/a. Das sind umgerechnet 2591 TWh/a. Dabei muss die Energie nach unserer heutigen Wirtschaftsweise zu jedem Zeitpunkt zu Verfügung stehen, auch in Zeiten, wo Sonne und Wind keine Energie liefern. Um die Voraussetzungen aber auch die Problematik für die Energiewende deutlich zu machen, nehme ich in meiner ersten Betrachtung den Extremfall an, dass der Endenergiebedarf nach der Energiewende allein durch Photovoltaik gewonnen werden soll. Ich nehme die Energiegewinnung durch Photovoltaik an, weil sich diese Form der Energie mit der höchsten Energiedichte saisonal speichern lässt.

Meine stark vereinfachte Betrachtung soll Größenverhältnisse deutlich machen, mehr nicht. Die Energiespeicherung soll in der Annahme durch synthetisch erzeugtes Methanol mit einem Speicherwirkungsgrad von 50% bereitgestellt werden. Der Wirkungsgrad der Photovoltaik soll mit 20% angenommen werden. Die Sonne liefert pro Jahr und horizontaler Fläche in Deutschland eine Energiemenge von 1 MWh/(m<sup>2</sup> a). Für sonnenarme Jahre soll noch ein Sicherheitsfaktor von 1,5 berücksichtigt werden.

Folgende Formelzeichen werden hierbei verwendet:

$E_{\text{Bed}}$  : Endenergiebedarf in Wh/a

$\eta_{\text{Sp}}$  : Wirkungsgrad der Energiespeicherung

$\eta_{\text{Ph}}$  : Wirkungsgrad der Photovoltaik

---

1 Quelle: Bundesministerium für Wirtschaft und Energie: Energiedaten Gesamtausgabe. Stand Oktober 2019

$q_s$  : Energiestromdichte der Solarstrahlung in Wh/(m<sup>2</sup> a)

S : Sicherheitsfaktor für sonnenarme Jahre

$A_{Ph}$  : Fläche aller nötigen Photovoltaikmodule in m<sup>2</sup>

$\rho_{Si}$  : Dichte von Silizium in kg/m<sup>3</sup>

$d_{Si}$  : Dicke der Siliziumwafer in m

$m_{Si}$  : Masse aller nötigen Siliziumwafer in kg

Es gilt:

$$A_{Ph} = \frac{E_{Bed} \cdot S}{\eta_{Sp} \cdot \eta_{Ph} \cdot q_s}$$

$$A_{Ph} = \frac{2591 \cdot 10^{12} \frac{Wh}{a} \cdot 1,5}{0,5 \cdot 0,2 \cdot 1 \cdot 10^6 \frac{Wh}{(m^2 a)}} = 38,87 \cdot 10^9 m^2 = 38870 km^2 = 197 km \times 197 km$$

Da Photovoltaikflächen auch die Funktion von Dachflächen erfüllen können, sollten die Solarmodule auf Siedlungsgebieten stehen und nicht auf Kosten von Naturflächen installiert werden. Die Gesamtheit aller Gebäude mit den dazugehörigen Freiflächen in Deutschland<sup>2</sup> beträgt 25000 km<sup>2</sup>. Das bedeutet, dass für eine Energiewende durch Photovoltaik die 1,6 fache Fläche aller Siedlungsflächen in Deutschland erforderlich wäre. In der Praxis sind nicht überdachte Freiflächen in Siedlungsgebieten ebenfalls erforderlich. Deshalb wird die massive Verringerung unseres Energieverbrauchs eine Voraussetzung für die Energiewende sein.

Weiterhin interessant ist die Frage, wie hoch die nötige Masse des Silizium ist, die für alle Photovoltaikmodule gebraucht würde. Die Masse des Siliziums wird mit folgender Gleichung berechnet:

$$m_{Si} = \rho_{Si} \cdot A_{Ph} \cdot d_{Si}$$

$$m_{Si} = 2336 \frac{kg}{m^3} \cdot 38,87 \cdot 10^9 m^2 \cdot 0,2 \cdot 10^{-3} m = 18,2 Mt$$

Die Masse des für die Energiewende nötigen Siliziums beträgt 18,2 Mt. Die Weltjahresproduktion<sup>3</sup> an Silizium beträgt 8 Mt/a. Das bedeutet, dass für eine Energiewende durch Photovoltaik mehr als die doppelte Menge des gesamten Siliziums nötig wäre, das weltweit in einem Jahr produziert wird. Die Bevölkerung Deutschlands beträgt mit ihren 83,2 Millionen Einwohnern aber nur 1 % der gesamten Weltbevölkerung. Das steht im krassen Widerspruch zu dem hohen Siliziumverbrauch, was ebenfalls eine Verringerung des Energiebedarfs zur Voraussetzung für die Energiewende macht.

<sup>2</sup> <https://www.umweltbundesamt.de/daten/flaeche-boden-land-oekosysteme/flaeche/siedlungs-verkehrsflaeche>

<sup>3</sup> <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/157537/umfrage/produktion-von-silizium-weltweit-nach-laendern/>

Hinzu kommt noch dass die Photovoltaikflächen und auch die Energiespeicher, gepflegt, instand gehalten und regelmäßig erneuert werden müssen. Bei einer Lebensdauer der Solarmodule von angenommen 30 Jahren, müsste pro Jahr eine Siliziummasse von 0,6 Mt/a recycelt und wieder zu Solarzellen umgewandelt werden. Das wären 10% der heutigen Weltjahresproduktion an Silizium für 1% der Weltbevölkerung. Auch das wäre keine Energiewende, die ich als verhältnismäßig bezeichnen würde.

Auch hier wird deutlich, dass die Energiewende mit unserer jetzigen Wirtschaftsweise nicht machbar ist.

### 3. Energiewende durch Windenergie

Das zweite extreme Szenario soll hier die Energiewende durch Windenergie sein. Angenommen, die Windkraftanlagen (WKA) für die Energiewende haben pro WKA eine Nennleistung von 3,5 MW, eine Nabenhöhe von 150 m, einen Rotordurchmesser von 120 m und eine Vollaststundenzahl von 2500 h/a. Damit die Windkraftanlagen nicht im Windschatten einer benachbarten Windkraftanlage stehen, müssen diese einen Mindestabstand voneinander haben.

Die hierfür erforderliche Fläche <sup>4</sup> wird durch folgende Gleichung beschrieben. 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  $m^2$

$E_{WKA}$  : Energieertrag einer Windkraftanlage in Wh/a

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

$n_{WKA}$  : Anzahl der Windkraftanlagen

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

$E_{Bed}$  : Endenergiebedarf in Wh/a

$S$  : Sicherheitsfaktor für sonnenarme Jahre

$\eta_{Sp}$  : Wirkungsgrad der Energiespeicherung

$$E_{WKA} = P_{WKA} \cdot t_{Voll} = 3,5 \cdot 10^6 \text{ W} \cdot 2500 \frac{\text{h}}{\text{a}} = 8,75 \cdot 10^9 \frac{\text{Wh}}{\text{a}}$$

$$n_{WKA} = \frac{E_{Bed} \cdot S}{\eta_{Sp} \cdot E_{WKA}} = \frac{2591 \cdot 10^{12} \frac{\text{Wh}}{\text{a}} \cdot 1,5}{0,5 \cdot 8,75 \cdot 10^9 \frac{\text{Wh}}{\text{a}}} = 888 \cdot 10^3$$

$$A_W = n_{WKA} \cdot \sqrt{\frac{3}{4}} (k_A \cdot d_{Rot})^2 = 888 \cdot 10^3 \cdot \sqrt{\frac{3}{4}} (4 \cdot 0,120 \text{ km})^2 = 177.185 \text{ km}^2$$

Die Fläche, die für die Energiewende durch Windenergie erforderlich wäre, beträgt 177.185  $km^2$ . Im Verhältnis dazu beträgt die Fläche der Bundesrepublik Deutschland (BRD) 357.588  $km^2$ . Die Fläche aller Windparks würden somit ca. 50 % der Gesamtfläche der BRD betragen. Das wäre ungefähr die Größe der gesamten landwirtschaftlich genutzten Fläche der BRD. <sup>5</sup> Hinzu kommt noch, dass zwischen einem Windpark und Siedlungsgebieten ein

<sup>4</sup> Kaltschmitt; Streicher; Wiese: Erneuerbare Energien. Systemtechnik, Wirtschaftlichkeit, Umweltaspekte. 4. Auflage. Springer Verlag. Berlin Hiedelberg 2006. Seite 323

Mindestabstand eingehalten werden muss. Dass verringert die nutzbare Fläche für die Gewinnung von Windenergie.

Nimmt man eine Laufzeit einer Windkraftanlage von 30 Jahren an, so müssten pro Jahr 29600 Windkraftanlagen erneuert und recycelt werden. Dabei ist das Recycling der Faserverbundwerkstoffe in den Rotorblättern der WKA nach wie vor problematisch.

In Deutschland werden bisher ca. 1500 WKA im Jahr zugebaut.<sup>6</sup> Die Produktionskapazitäten für die heute jährlich zugebauten WKA würden bei weiten nicht ausreichen, um die für die Energiewende nötigen WKA überhaupt instand zu halten.

Als Fazit bedeutet das für mich, dass unser heutiger Energieverbrauch um Größenordnungen sinken muss, wenn wir eine wirkliche Energiewende erreichen wollen.

---

5 [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)

6 <https://www.wind-energie.de/themen/zahlen-und-fakten/deutschland/>

## 4. Aufstellen der Gleichungen für den Heizenergieverbrauch

Ich habe den Eindruck, dass sich unsere Gesellschaft vor der Energiewende drückt. Das wird dadurch deutlich, dass in Politik und Medien der Fokus auf den CO<sub>2</sub>-Gehalt der Luft gelegt wird und sogar die Kernkraft als klimafreundliche Energie bezeichnet wird. Das Problem des hohen Energieverbrauchs ist bekannt aber es wird darüber hinweg gesehen. Wie könnte das Problem trotzdem gelöst werden? Dazu möchte ich beispielhaft die physikalischen Gleichungen genauer betrachten, mit denen der Wärmeverbrauch an Gebäuden berechnet wird. Ich möchte dies vereinfacht, aber dennoch nicht falsch tun:

Gegeben sei ein würfelförmiger Raum, bei dem alle Flächen die gleichen physikalischen Eigenschaften haben. Der Raum hat eine Innentemperatur, eine Außentemperatur, einen Luftaustausch mit seiner Umgebung und hat eine Wärmedämmung. Die Frage ist nun folgende: Wie lässt sich der Wärmeverbrauch des Raumes am effektivsten und schnellsten mit dem geringsten Aufwand verringern, so dass dieser Raum immer noch angenehm bewohnbar bleibt?

Bei dieser Berechnung werden folgende Formelzeichen verwendet:

- A: Oberfläche des würfelförmigen Raumes in m<sup>2</sup>
- a: Kantenlänge des würfelförmigen Raumes in m
- c<sub>p,L</sub>: Spezifische Wärmekapazität der Luft in J/( kg K)
- λ: Spezifische Wärmeleitfähigkeit der Isolationsschicht in W/( m K )
- n: Luftwechselzahl in 1/s
- ρ<sub>L</sub>: Dichte der Luft in kg/m<sup>3</sup>
- s: Dicke der Isolationsschicht in m
- θ<sub>i</sub>: Innentemperatur im Raum in °C
- θ<sub>a</sub>: Außentemperatur der Umgebung in °C
- V: Volumen des würfelförmigen Raumes in m<sup>3</sup>
- $\dot{Q}_\lambda$ : Wärmestrom durch die Isolationsschicht in W
- $\dot{Q}_L$ : Wärmestrom durch den Luftwechsel in W
- $\dot{Q}_{ges}$ : Wärmeverluste des gesamten Raumes in W

Der Wärmeverlust des Raumes wird im Wesentlichen durch folgende Gleichungen beschrieben:

$$V = a^3 \quad (1)$$

$$A = 6 a^2 \quad (2)$$

$$\dot{Q}_\lambda = \frac{\lambda}{s} \cdot A \cdot (\vartheta_a - \vartheta_i) \quad (3)$$

$$\dot{Q}_L = \rho_L \cdot c_{p,L} \cdot V \cdot n \cdot (\vartheta_a - \vartheta_i) \quad (4)$$

$$\dot{Q}_{ges} = \dot{Q}_\lambda + \dot{Q}_L \quad (5)$$

Einsetzen der Gleichungen (1) und (2) in Gleichung (3) und (4)

$$\dot{Q}_\lambda = \frac{\lambda}{s} \cdot 6 \cdot a^2 \cdot (\vartheta_a - \vartheta_i) \quad (6)$$

$$\dot{Q}_L = \rho_L \cdot c_{p,L} \cdot a^3 \cdot n \cdot (\vartheta_a - \vartheta_i) \quad (7)$$

Einsetzen von Gleichung (6) und (7) in Gleichung (5)

$$\dot{Q}_{ges} = \frac{\lambda}{s} \cdot 6 \cdot a^2 \cdot (\vartheta_a - \vartheta_i) + \rho_L \cdot c_{p,L} \cdot a^3 \cdot n \cdot (\vartheta_a - \vartheta_i) \quad (8)$$

Umformen von Gleichung (8)

$$\dot{Q}_{ges} = \left( \frac{\lambda}{s} \cdot 6 \cdot a^2 + \rho_L \cdot c_{p,L} \cdot a^3 \cdot n \right) \cdot (\vartheta_a - \vartheta_i) \quad (9)$$

bzw.

$$\dot{Q}_{ges} = \left( \rho_L \cdot c_{p,L} \cdot a^3 \cdot n + \frac{\lambda}{s} \cdot 6 \cdot a^2 \right) \cdot (\vartheta_a - \vartheta_i) \quad (10)$$

## 5. Kurvendiskussion

Die Gleichung besteht aus einem Produkt. Der Term auf der linken Seite beinhaltet eine kubische Gleichung bezüglich der Seitenlänge des würfelförmigen Raumes. Der Term auf der rechten Seite besteht aus der Temperaturdifferenz zwischen Außentemperatur und Innentemperatur. Es gibt Größen in dieser Gleichung, die fest vorgegeben, das heißt, nicht wählbar sind. Dazu zählen die Stoffeigenschaften der Luft  $\rho_L$  und  $c_{p,L}$ , sowie die Außentemperatur der Luft  $\vartheta_a$ . Die Innentemperatur der Luft  $\vartheta_i$  ist von Fall zu Fall eine variable Größe. Das hängt von der Nutzung des Raumes ab. Die Absenkung der Innentemperatur ist aber nicht beliebig möglich, wenn der Raum komfortabel sein soll. Hinzu kommt noch, dass alle Räume, die Wasserleitungen beinhalten, frostfrei gehalten werden müssen. Es besteht zwar die Möglichkeit, Wasserleitungen direkt zu beheizen, um diese frostfrei zu halten, aber das ist nur eine Notlösung. Die Luftwechselzahl eines Raumes kann nur begrenzt verringert werden, weil durch den Luftaustausch Schadstoffe und Wasserdampf aus dem Raum abtransportiert werden muss und dem Raum Frischluft zugeführt wird. Bei sehr kleinen Räumen muss die Luftwechselzahl sogar steigen, was in dieser Betrachtung aufgrund der Vereinfachung vernachlässigt wird. Diese Vernachlässigung der steigenden Luftwechselzahl in kleinen Räumen, ist meiner Ansicht nach zulässig, weil die Abluft eines beheizten Raumes für die Luftzufuhr von Heizgeräten genutzt werden kann. Dadurch tritt eine Wärmerückgewinnung der Wärme der Abluft auf, was wiederum den Energieverbrauch senkt.

Im folgenden Rechenbeispiel sei ein würfelförmiger Raum mit folgenden Eigenschaften gegeben:

$a = 6;$	# Kantenlänge des würfelförmigen Raumes in m
$c_{pL} = 1006;$	# Spezifische Wärmekapazität der Luft in J/( kg K)
$\lambda = 0.04;$	# Spezifische Wärmeleitfähigkeit der Isolationsschicht in W/( m K )
$n = 0.6/3600;$	# Luftwechselzahl in 1/s
$\rho_L = 1.2;$	# Dichte der Luft in kg/m <sup>3</sup>
$s = 0.1;$	# Dicke der Isolationsschicht in m
$\vartheta_i = 20;$	# Innentemperatur im Raum in °C
$\vartheta_a = 0;$	# Außentemperatur der Umgebung in °C

In der folgenden Berechnung wird versucht, den Energieverbrauch des Raumes durch folgende Maßnahmen zu verringern:

1. Erhöhung der Dicke der Isolationsschicht
2. Senkung der Raumtemperatur
3. Verkleinerung des beheizten Raumes

Die Diagramme stellen den Heizenergieverbrauch bezogen auf den Heizenergieverbrauch am Anfangszustand dar.

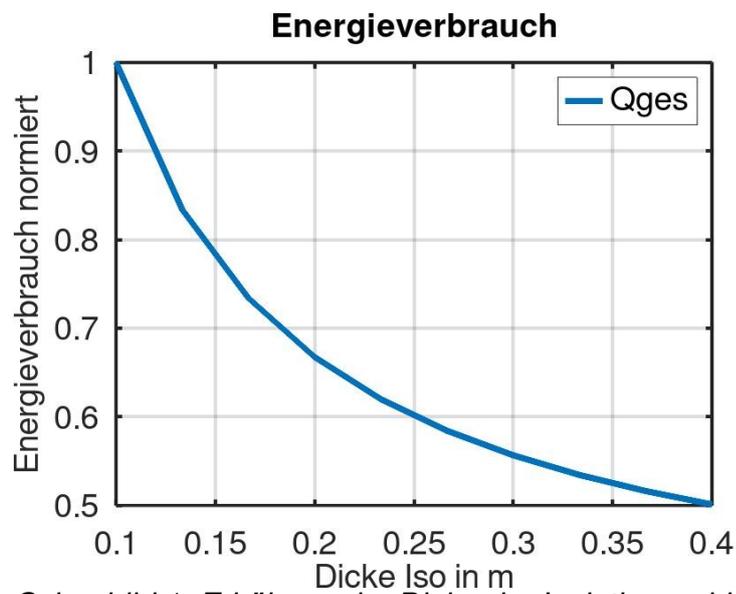


Schaubild 1: Erhöhung der Dicke der Isolationschicht

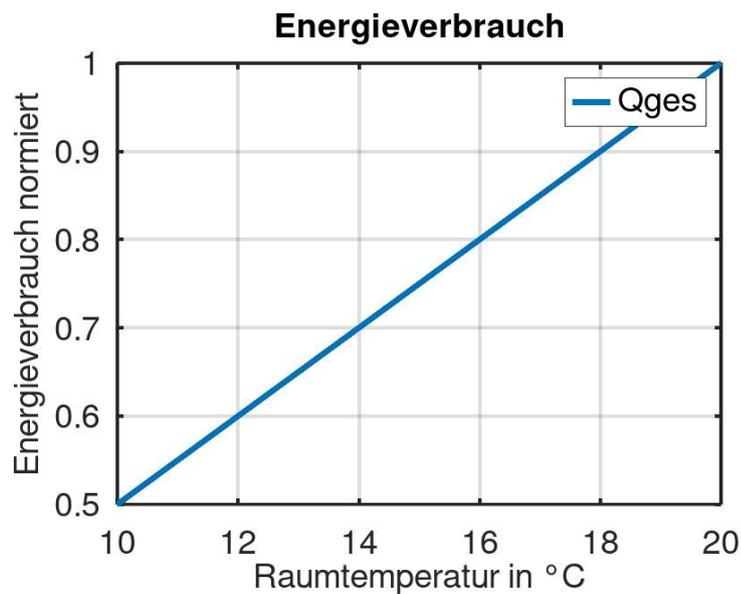
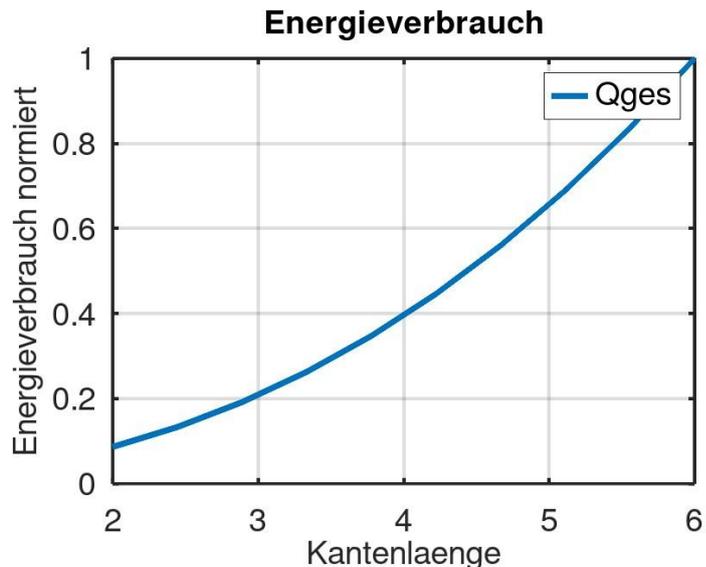


Schaubild 2: Verringerung der Raumtemperatur



*Schaubild 3: Verkleinerung des beheizten Raumes*

Die Berechnung zeigt, dass die Erhöhung der Dicke der Isolationsschicht von 0,1m auf 0,4 m den Energieverbrauch des Raumes auf 50% verringert. Die Absenkung der Raumtemperatur von 20 °C auf 16 °C verringert den Energieverbrauch lediglich auf 80% des Anfangswertes. Die Verringerung der Kantenlänge des beheizten Gebäudebereichs von 6m auf 4m verringert den Heizenergiebedarf auf 40%.

Die Maßnahme, die den Energieverbrauch für die Raumheizung am schnellsten mit dem kleinstmöglichen Aufwand erreicht ist die Verringerung des Volumens des beheizten Raumes. Wie könnte eine Wohnung eingerichtet sein, die eine „gute Stube“ enthält und in der alle anderen Räume unbeheizt sind? Das Konzept ist gar nicht so neu und in den historischen Umgebendhäusern der Oberlausitz üblich.

Dabei ist darauf zu achten, dass in Rohrleitungen keine Frostschäden auftreten und die unbeheizten Räume nicht zu luftdicht sind, so dass ein ausreichender Luftaustausch mit dem Außenbereich stattfindet.

## 6. Ausblick

Wie lässt sich der Energieverbrauch in Deutschland so weit absenken, dass eine Energiewende möglich wird? Hier sind einige Maßnahmen aufgezählt, mit denen der Energieverbrauch effektiv gesenkt werden kann:

Erstens können wir in Deutschland aufgrund der nur spärlich vorhandenen Rohstoff- und Energieressourcen von der Produktion Industriegütern für den Export auf die Erzeugung immaterieller Güter wechseln. Das bedeutet, dass wir wieder zum Land der Dichter und Denker werden und uns auf wissenschaftliche Forschung, Kunst und Kultur konzentrieren sollten.

Zweitens können wir unsere Güter, die wir besitzen, besser behandeln und all die Dinge, die wir haben reparieren, bevor wir sie wegwerfen. Wir sollten dankbarer für all die Dinge sein, die uns jeden Tag gute Dienste leisten und unser Leben angenehmer machen.

Drittens können die Güter, die wir produzieren, eine so hohe Langlebigkeit besitzen, dass sie über Generationen halten. Die Strukturen für einen Gebrauchsgütermarkt existieren bereits.

Viertens kann die Wirtschaft so weit dezentral organisiert sein, so dass der Berufsverkehr so weit wie möglich reduziert wird. Erstens ist die Fahrzeit zur Arbeit meist verlorene Zeit. Dazu kommt noch, dass bei allen immateriellen Berufen die Möglichkeit besteht, vom Computer zu Hause aus zu arbeiten, oder sich in kleinen Büroräumen nahe am Wohnort, zum Beispiel in Coworking-Spaces, zum gemeinsamen Arbeiten zu treffen.

Fünftens können Photovoltaikflächen je nach Bedarf teilweise mit Hybridkollektoren ausgestattet werden, die neben der Stromerzeugung durch Photovoltaik auch die Wärmegewinnung über Solarthermie erlauben.

Sechstens können durch die Energiespeicherung über die synthetische Erzeugung von Methan und Methanol aus Wasser, CO<sub>2</sub> und elektrischem Strom, die bestehenden Verbrennungsmaschinen weiter genutzt werden. Dadurch könnten reichlich vorhandene Werkstoffe wie Stahl weiter genutzt werden und der Einsatz von seltenen Rohstoffen wie Kupfer und seltene Erden für die Elektromobilität wäre nicht in großem Umfang nötig.

Siebtens könnte die Produktion von energieintensiven Gütern auf die Sommermonate verlagert werden, wenn das Angebot an Solarenergie höher ist. Das würde den Aufwand der saisonalen Energiespeicherung verringern.