
Nachhaltige Energie – ohne die heiße Luft

David J.C. MacKay

Dieses Buch legt mit bemerkenswerter Klarheit und Objektivität die verschiedenen CO₂-armen Alternativen, die uns offenstehen, dar.

Sir David King FRS

Chief Scientific Adviser der britischen Regierung, 2000–08

Für jeden mit Einfluss auf Energiepolitik, ob in der Regierung, in Unternehmen oder in Aktionsgruppen, sollte dieses Buch Pflichtlektüre sein.

Tony Juniper

Ehemaliger Executive Director, Friends of the Earth

Endlich ein Buch, das umfassend die tatsächlichen Fakten über nachhaltige Energie in leicht lesbarer und unterhaltsamer Weise darstellt.

Robert Sansom

Direktor für Strategie und nachhaltige Entwicklung, EDF Energy

Eine Zusammenfassung auf zehn Seiten

Wir sind süchtig nach fossilen Brennstoffen, und das ist nicht nachhaltig. Die entwickelte Welt bezieht 80% ihrer Energie aus fossilen Brennstoffen, Großbritannien 90%. Aus drei Gründen ist das nicht nachhaltig. Erstens werden leicht zugängliche Brennstoffe eines Tages nicht mehr verfügbar sein. Zweitens haben fossile Brennstoffe einen messbaren und mit hoher Wahrscheinlichkeit gefährlichen Einfluss auf unser Klima. Den Klimawandel zu verhindern, verlangt eine sofortige Änderung unseres gegenwärtigen Verbrauchs fossiler Brennstoffe. Drittens, auch wenn uns der Klimawandel egal ist, scheint eine drastische Verringerung des britischen Verbrauchs fossiler Brennstoffe eine schlaue Sache zu sein, wenn uns Versorgungssicherheit wichtig ist: Der kontinuierlich hohe Verbrauch der Öl- und Gasreserven in der Nordsee wird das ölsüchtige Großbritannien sonst bald von vertrauensunwürdigen Fremden abhängig machen. (Ich hoffe, Sie hören meinen ironischen Unterton.)

Wie können wir von unserer Sucht nach fossilen Brennstoffen loskommen?

Es gibt keinen Mangel an Ratschlägen, wie man „einen Unterschied macht“, aber die Öffentlichkeit ist verwirrt, unsicher, ob diese Ratschläge etwas bewirken oder nur Feigenblätter sind. Wir sind zu Recht misstrauisch, wenn Unternehmen uns erzählen, dass wir unseren „Anteil“ getan haben, wenn wir ihr „grünes“ Produkt kaufen. Genauso sieht es mit der nationalen Strategie aus. Sind zum Beispiel „Dezentralisierung“ und „Kraft-Wärme-Kopplung“ genug? Die Regierung möchte, dass wir das glauben. Aber würden diese Technologien wirklich Großbritanniens Pflichten in Bezug auf den Klimawandel erfüllen? Sind Windfarmen „nur eine Geste, um die umweltpolitische Glaubwürdigkeit unserer Politiker zu beweisen“? Ist Atomkraft essentiell?

Wir brauchen einen Plan, der aufgeht. Die gute Nachricht ist, dass solche Pläne möglich sind. Die schlechte Nachricht ist, dass es nicht leicht wird, sie umzusetzen.

Sustainable Energy –
without the hot air

David JC MacKay



Foto von Terry Cavner.

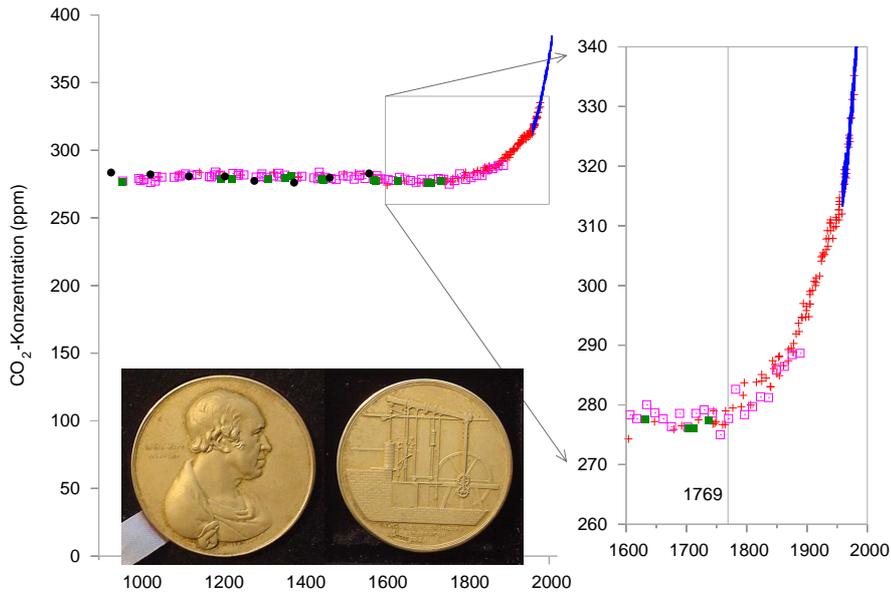


Abbildung 1. Kohlenstoffdioxid (CO₂)-Konzentrationen (in Teile pro Million) in den letzten 1100 Jahren, die Messungen stammen aus Lufteinschlüssen in Eisbohrkernen (bis 1977) und direkt aus Hawaii (seit 1958).

Ich denke etwas Neues könnte zwischen 1800 und 2000 passiert sein. Ich habe das Jahr 1769, in dem James Watt seine Dampfmaschine patentierte, markiert. (Die erste brauchbare Dampfmaschine wurde 70 Jahre früher, 1698, erfunden, aber Watts Maschine war viel effizienter.)

Teil I - Zahlen, keine Adjektive

Der erste Teil dieses Buches untersucht, ob ein Land wie Großbritannien, bekanntermaßen reich an Ressourcen wie Wind, Wellen und Gezeiten, von seinen eigenen Erneuerbaren leben könnte. Man hört oft, dass Großbritanniens Potential an erneuerbaren Energien „riesig“ sei. Aber es reicht nicht zu wissen, dass eine Energiequelle „riesig“ ist. Wir müssen wissen, wie sie im Vergleich zu etwas anderem „Riesigen“ aussieht, nämlich unserem riesigen Verbrauch. Um solche Vergleiche zu machen, brauchen wir *Zahlen und keine Adjektive*.

Wo Zahlen verwendet werden, wird ihre Bedeutung oft durch ihre schiere Größe verschleiert. Zahlen werden oft verwendet, um zu beeindrucken, um in Diskussionen zu punkten, anstatt zu informieren. Im Gegensatz dazu ist mein Ziel, ehrliche und sachliche Zahlen in einer Weise zu präsentieren, dass sie verständlich, vergleichbar und leicht zu merken sind. Diese Zahlen werden verständlicher, indem sie in alltäglichen, *personenbezogenen* Einheiten ausgedrückt werden. Energien werden als Größen pro Person in Kilowattstunden (kWh) ausgedrückt, der gleichen Einheit wie sie auf den Stromrechnungen der Haushalte erscheint. Leistungen werden in Kilowattstunden pro Tag, pro Person (kWh/d) angegeben. Abb. 2 illustriert ein paar Größen in diesen Einheiten. Zum Beispiel in rot: einen durchschnittlichen Wagen 50 km am Tag zu fahren, verbraucht **40 kWh pro Tag**. In grün auf der rechten Seite sind einige erneuerbare Ressourcen abgebildet: 10% des Landes mit Windfarmen zu bedecken, würde im Durchschnitt **20 kWh pro Tag und pro Person** ergeben.

Ein Grund, diese personenbezogenen Einheiten vorzuziehen, ist, dass es viel einfacher wird, Überlegungen zu Großbritannien auf andere Länder oder Regionen zu übertragen. Wenn wir uns zum Beispiel vorstellen, wir reden über Müllverbrennung und wir stellen fest, dass die Müllverbrennung in Großbritannien eine Leistung von 7TWh pro Jahr erbringt und dass Dänemarks Müllverbrennung 10TWh pro Jahr liefert. (1TWh (eine Terawattstunde) ist gleich einer Milliarde kWh.) Hilft uns das zu entscheiden, ob Dänemark „mehr“ Müll verbrennt als Großbritannien? Während

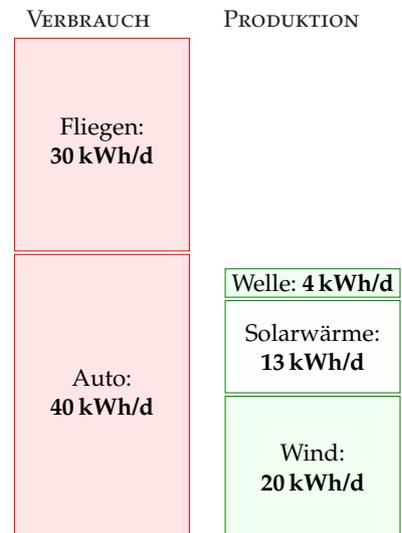


Abbildung 2. Vergleich einiger Energie verbrauchender Aktivitäten mit der möglichen Produktion erneuerbarer Energie aus drei britischen Quellen. Links: 50 km am Tag Auto zu fahren, verbraucht 40 kWh pro Tag, ein jährlicher Langstreckenflug verbraucht 30 kWh pro Tag (über das Jahr gemittelt). Rechts: Die windigsten 10% von Großbritannien mit Onshore-Windanlagen zu bebauen, würde 20 kWh pro Tag pro Person erbringen, jedes nach Süden zeigende Dach mit thermischen Solaranlagen zu bedecken, würde 13 kWh pro Tag und pro Person ergeben und Wellenkraftwerke im Atlantik auf einer Länge von 500 km würden 4 kWh pro Tag und pro Person produzieren.

die totale Leistung interessant sein mag, die aus Müllverbrennung in jedem Land gewonnen wird, denke ich, dass wir normalerweise wissen wollen, wie viel Müllverbrennung pro Person stattfindet. (In Dänemark sind es **5 kWh/d pro Person**, in Großbritannien **0,3 kWh/d pro Person**. Die Dänen verbrennen also etwa 13-mal mehr Müll pro Person als die Briten.) Wenn wir von Anfang an alles in Einheiten pro Person diskutieren, bekommen wir ein leichter übertragbares Buch, eines, das hoffentlich weltweit für Diskussionen über nachhaltige Energien verwendbar sein wird. Mit einfachen und vertrauenswürdigen Zahlen können wir Fragen wie die folgenden beantworten:

1. Kann ein Land wie Großbritannien es schaffen, von seinen eigenen erneuerbaren Energien zu leben?
2. Wird ein Wechsel zu „fortgeschrittenen Technologien“ es ermöglichen, CO₂-Emissionen zu verhindern, ohne unseren Lebensstil zu ändern?

Teil I von *Nachhaltige Energie - ohne die heiße Luft* veranschaulicht in Rot einen Verbrauchsstapel, der die Energiekosten einer Reihe von Energie verbrauchenden Aktivitäten darstellt, und in Grün einen Stapel, der vollständig alle möglichen erneuerbaren Energien in Großbritannien aufaddiert.

Während wir die Zahlen für die linke Verbrauchsseite ausrechnen, nehmen wir einige Mythen auseinander. So wird als Beispiel für ein ökologisches Verbrechen oft angeführt, „das Handy-Ladegerät eingesteckt zu lassen“, während Leute, die ihr Ladegerät ausstöpseln, dafür gelobt werden, dass sie „ihren Anteil“ geleistet haben. In Wahrheit verbraucht ein typisches Handy-Ladegerät nur **0.01 kWh pro Tag**. Die Energie, die gespart wird, wenn man das Handy-Ladegerät abschaltet, **0.01 kWh**, ist genau die gleiche wie **die Energie, die beim Fahren eines durchschnittlichen Autos in einer Sekunde verbraucht wird**. Ich sage nicht, dass Sie ihr Ladegerät nicht abschalten sollten. Aber lassen Sie sich nicht vom Mantra „Jedes kleine Bisschen hilft“ einlullen. Obsessiv das Ladegerät abzuschalten ist so, als ob man die Titanic mit einem Teelöffel hätte retten wollen. Schalten Sie es ab, aber seien Sie sich bewusst, dass es nur eine kleine Geste ist.

Die gesamte Energie, die gespart wird, wenn Sie ihr Ladegerät für einen Tag abschalten, wird in *einer Sekunde* Autofahren verbraucht.

Die Energie, die gespart wird, wenn Sie ihr Ladegerät *ein Jahr* lang abschalten, entspricht der Energie, die für ein heißes Bad benötigt wird.

Ihr Ladegerät ist nur ein winzig kleiner Bruchteil ihres Energieverbrauchs. *Wenn jeder nur ein kleines Bisschen tut, erreichen wir nur ein Bisschen.*

Eine weitere Zahl, die es sich zu merken lohnt, ist der Beitrag von Langstreckenflügen zum Energie-Fußabdruck einer Person. Wenn Sie einmal im Jahr nach Kapstadt und zurück fliegen, ist die Energie, die sie verbrauchen, fast so groß wie die Energie, die durch das Fahren von 50 km pro Tag, jeden Tag im Jahr in einem durchschnittlichen Auto verbraucht wird.

Einen großen Anteil am britischen Energieverbrauch haben Produkte. **Importierte, industriell hergestellte Produkte** werden üblicherweise nicht zum britischen Energie-Fußabdruck hinzugezählt, da die Industrie eines

STOFFFLÜSSE IN GB (kg pro Tag, pro Person)	
EIN	
Fossile Brennstoffe	16
Kohle	4
Öl	4
Gas	8
Alle Importe	12.5
Nahrungsmittel	1.6
Industrie-Produkte	3.5
Wasser	160
Aus	
CO ₂ und andere	
Treibhausgase	30
Abfall	1.6
Recycling	0.27
Verbrennung	0.13
Deponie	1.0
Sondermüll	0.2
Nahrungsmittel	0.3

Tabelle 3. Quellen: DEFRA, Eurostat, Office for National Statistics, Department for Transport.

anderen Landes verantwortlich dafür war, die Energie aufzubringen. Dennoch liegen die Übersee-Energie-Kosten, um importierte, industriell hergestellte Produkte (wie z.B. Autos, Maschinen, Weißware, elektrische und elektronische Geräte, Eisen, Stahl und Massengüter) zu produzieren, bei wenigstens 40 kWh pro Tag und pro Person. Der erste Teil zieht zwei klare Schlüsse. Erstens müssen, damit erneuerbare Energien – verglichen mit unserem derzeitigen Verbrauch – einen nennenswerten Anteil haben, diese landesweit produziert werden. Um ein Viertel unseres derzeitigen Energieverbrauchs durch den Anbau von Energiepflanzen zu decken, müssten 75% Großbritanniens mit Biomasse-Plantagen bedeckt werden. Um 4% unseres Verbrauchs durch Wellenkraftwerke abzudecken, müssten 500 km der Atlantischen Küstenlinie vollständig mit Wellenkraftwerken bebaut werden. Jemand, der von erneuerbaren Energien leben möchte, aber *nicht* möchte, dass die damit verbundene Infrastruktur groß oder sichtbar ist, macht sich selbst etwas vor.

Zweitens *könnte* es möglich sein, *wenn man ökonomische Beschränkungen und die Widerstände der Bevölkerung beiseite lässt*, den typischen europäischen Energiebedarf von 125 kWh/d pro Person aus diesen erneuerbaren Quellen im ganzen Land zu decken. Den größten Beitrag könnten photovoltaische Module leisten. 5% oder 10% des Landes bedeckend, würden sie 50 kWh/d pro Person erzeugen. Offshore-Windfarmen, die die doppelte Fläche von Wales auf See bedecken würden, könnten im Durchschnitt weitere 50 kWh/d pro Person liefern.

Solch ein gigantisches Zupflastern der Landschaft mit Solarmodulen und Befüllen der Britischen Meere mit Windrädern (die eine Kapazität fünfmal so groß wie die derzeitige Windkraftanlagenkapazität der Welt hätten) wäre vielleicht den Gesetzen der Physik zu Folge möglich, aber würde die Öffentlichkeit ein solch extremes Arrangement akzeptieren und bezahlen? Wenn die Antwort nein ist, müssen wir daraus schließen, *dass der derzeitige Verbrauch niemals aus britischer erneuerbarer Energie gedeckt werden kann*. Wir müssten entweder unseren Verbrauch radikal reduzieren oder bedeutende andere zusätzliche Energiequellen auf tun oder beides.

Teil II - Energiepläne, die aufgehen

Der zweite Teil von *Nachhaltige Energie - Ohne die heiße Luft* untersucht sechs Strategien, die die Lücke zwischen Verbrauch und Produktion Erneuerbarer schließen, die im ersten Teil gezeigt wurde. Dann werden mehrere Energiepläne für Großbritannien skizziert, die aufgehen. Die ersten drei Strategien, um die Lücke zu schließen, reduzieren die *Nachfrage*:

- Verringerung der Bevölkerung
- Änderung des Lebensstils
- Wechsel zu effizienteren *Technologien*

Die anderen Strategien, um die Lücke zu schließen, erhöhen die *Produktion* von Energie:

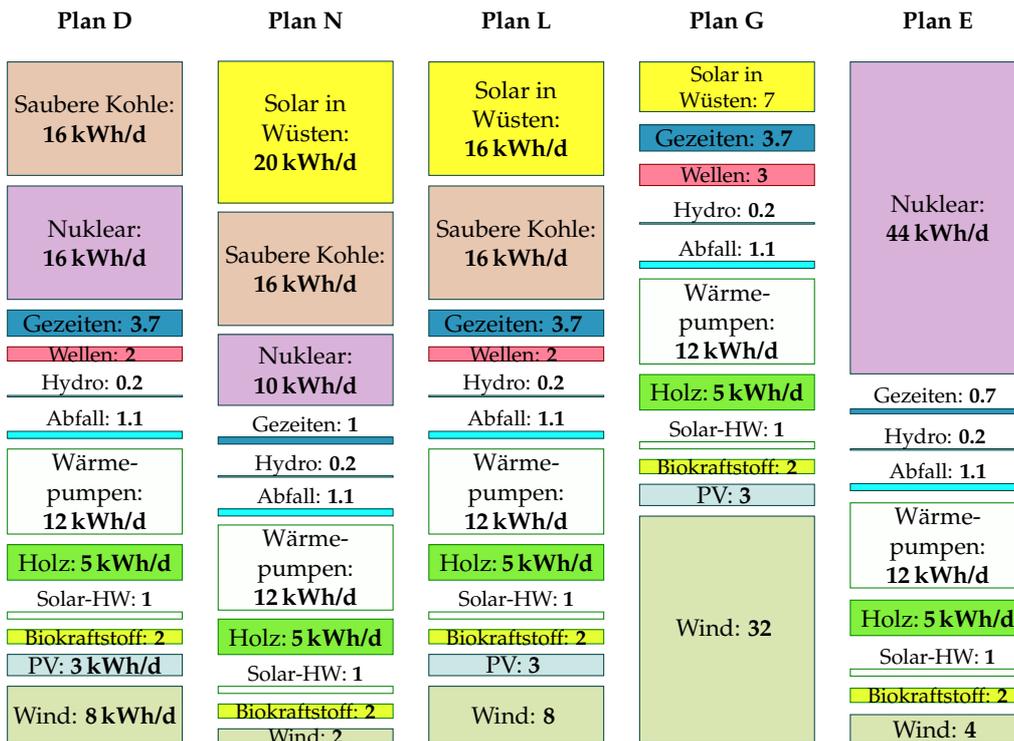
- „Nachhaltige fossile Brennstoffe“ und „saubere Kohle“ sind Namen, die dafür verwendet werden, weiter Kohle zu verbrennen – dies aber auf eine andere Art, mit CO₂-Abscheidung und -Speicherung. Wie viel Energie können wir aus Kohle „nachhaltig“ gewinnen?

LEISTUNG PRO EINHEIT LAND- ODER WASSERFLÄCHE	
Wind	2 W/m ²
Offshore-Wind	3 W/m ²
Gezeitentümpel	3 W/m ²
Gezeitenströmung	6 W/m ²
Solarmodule (PV)	5–20 W/m ²
Pflanzen	0.5 W/m ²
Regenwasser (Highlands)	0.24 W/m ²
Wasserkraft	11 W/m ²
Geothermie	0.017 W/m ²
Thermikkraftwerk	0.1 W/m ²
Meereswärme	5 W/m ²
Konzentrierte Sonnen- energie (Wüste)	15 W/m²

Tabelle 4. Erneuerbare Energien müssen landesweit eingesetzt werden, weil sie so diffus sind. Die Tabelle listet die Leistung pro Einheit Land- oder Wasserfläche auf.



Abbildung 5. Dish-Stirling-Anlage. Dieser wunderschöne Konzentrador liefert eine Leistung pro Landfläche von 14 W/m². Foto mit freundlicher Genehmigung von Stirling Energy Systems. www.stirlingenergy.com



diese benötigte Elektrizität durch fünf verschiedene Zusammenstellungen CO₂-freier Optionen. Die Zusammenstellungen repräsentieren verschiedene politische Ausrichtungen, inklusive Plan G, den grünen Plan, der ohne „saubere Kohle“ und ohne Atomkraft auskommt, Plan N, den NIMBY Plan („not in my backyard“ - nicht in meinem Garten), der verstärkter Gebrauch von Erneuerbaren anderer Länder macht, und Plan E, den ökonomischen Plan, der sich auf die ökonomischsten CO₂-freien Optionen konzentriert: Onshore-Windanlagen, Atomkraft und eine Handvoll von Gezeitenkraftwerken.

Diese Pläne verdeutlichen die Bausteine, mit deren Hilfe wir unsere Wenig-CO₂-Zukunft schaffen müssen.

Jeder Plan, der nicht starken Gebrauch von Atomkraft oder „sauberer Kohle“ macht, muss die Energiebilanz durch erneuerbare Energien, die aus anderen Ländern gekauft werden, ausgleichen. Die vielversprechendste erneuerbare Energiequelle für Entwicklung in großem Maßstab ist die Konzentration solarer Energie in Wüsten. Konzentrierte Solarenergie verwendet verschiedene Kombinationen aus bewegten Spiegeln, Salzschmelzen, Dampf und Wärmekraftanlagen, um Energie zu erzeugen.



Abbildung 7. Fünf Energiepläne für Großbritannien. Alle Pläne für die Produktionsseite basieren auf der Annahme, dass die Nachfrage durch Effizienzsteigerungen bei Heizung und Transport verringert wurde.

Abbildung 8. Andasol – eine „100 MW“-Solarkraftanlage, die in Spanien gebaut wird. Überschüssige thermische Energie, die tagsüber produziert wird, wird bis zu sieben Stunden in Tanks mit flüssigem Salz gespeichert, was eine kontinuierliche und stabile Abgabe von elektrischer Energie an das Stromnetz ermöglicht. Die Leistung pro Landfläche wird 10 W/m² betragen. Foto: IEA SolarPACES.

Um die Größenordnung eines Energieplans, der aufgeht, zu verdeutlichen, zeigt Abb. 9 eine Karte von Großbritannien, die einen sechsten Plan zeigt. Der sechste Plan beinhaltet jede mögliche CO₂-arme Energiequelle und liegt ungefähr in der Mitte, deshalb nenne ich ihn Plan M.

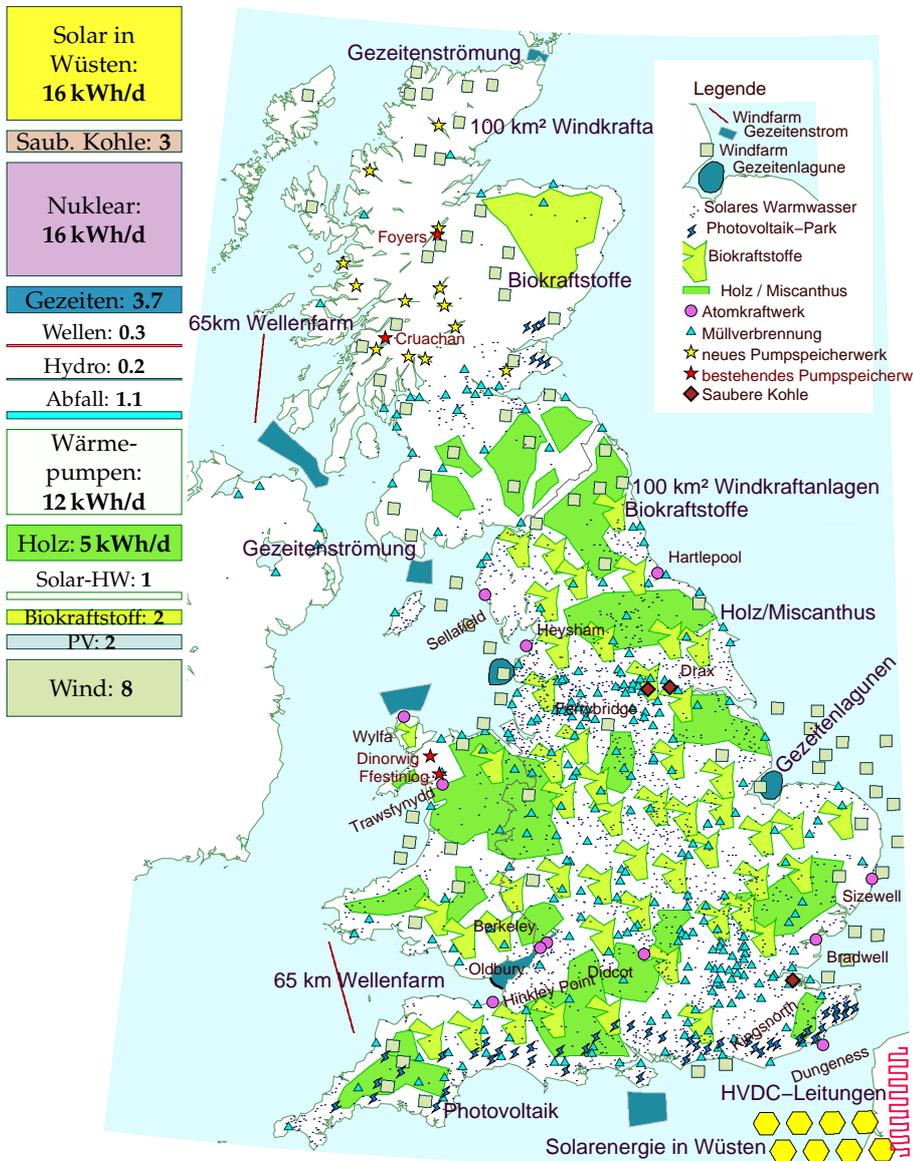


Abbildung 9. Plan M. Ein Plan für Schottland, England und Wales, der aufgeht.

Die grau-grünen Quadrate sind Windanlagen. Jede ist 100 km² groß und maßstabgerecht dargestellt. Die roten Linien im Meer sind Windanlagen, maßstabgerecht dargestellt.

Hellblaue blitzförmige Polygone: Photovoltaik-Park – jeder 20 km² groß, maßstabgerecht.

Blau Vielecke im Meer: Gezeitenkraftwerke.

Blau Kleckse im Meer (Blackpool und The Wash): Gezeitenlagunen. Hellgrüne Landflächen: Holz und schnell wachsende Baumarten (maßstabgerecht).

Grün-gelbe Flächen: Biokraftstoffe (maßstabgerecht).

Kleine blaue Dreiecke: Müllverbrennungsanlagen (nicht maßstabgerecht).

Große braune Rauten: Saubere Kohlekraftwerke mit Biomasse-Verbrennung und CO₂-Abscheidung und -Speicherung (nicht maßstabgerecht).

Violette Punkte: Atomkraftwerke (nicht maßstabgerecht) – 3.3 GW Durchschnittsproduktion an allen 12 Standorten.

Gelbe Sechsecke über den Kanal: konzentrierte Solarenergie in entfernten Wüsten (maßstabgerecht, jeweils 335 km²). Die pinke, schlangenförmige Linie in Frankreich symbolisiert neue Hochspannungsgleichstrom-Leitungen, 2000 km lang, die 40 GW aus entfernten Wüsten nach Großbritannien transportieren.

Gelbe Sterne in Schottland: neue Pumpspeicherkraftwerke.

Rote Sterne: bestehende Pumpspeicherkraftwerke.

Blau Punkte: Solarmodule für heißes Wasser auf allen Dächern.

Mein Ziel ist es nicht, einen Sieger zu bestimmen, sondern ehrliche, quantitative Fakten zu allen Optionen darzustellen. Deshalb möchte ich einige heilige Kühe hervorheben, die im Scheinwerferlicht quantitativer Untersuchung nicht besonders gut dastehen, und einige die es tun.

Schlecht: Mit Wasserstoff betriebene Fahrzeuge sind eine Katastrophe. Die meisten Prototypen mit Wasserstoff betriebener Fahrzeuge verbrauchen mehr Energie als fossil betriebene Fahrzeuge, die sie ersetzen sollen. Der BMW Hydrogen 7 verbraucht **254 kWh pro 100 km** (der durchschnittliche fossil betriebene Wagen in Großbritannien hingegen **80 kWh pro 100 km**). **Gut:** Im Gegensatz dazu verbrauchen Prototypen von **Elektro-Autos** zehnmal weniger Energie: **20 kWh pro 100 km** oder sogar nur **6 kWh pro 100 km**. Elektro-Autos sind viel besser als Hybrid-Autos. Die heutigen

Hybrid-Autos, die meist nur höchstens 30% besser als fossil betriebene Autos sind, sollten als ein erster Schritt zu Elektro-Autos betrachtet werden.



Abbildung 10. **Schlecht:** BMW Hydrogen 7. Energieverbrauch: 254 kWh pro 100 km. Foto von BMW.



Abbildung 11. **Gut:** Das Elektroauto Tesla Roadster. Energieverbrauch: 15 kWh pro 100 km. www.teslamotors.com.



Abbildung 12. **Gut:** Der APTERA. 6 kWh pro 100 km. Foto von www.aptera.com.

Schlecht: Dezentralisierte Kraft-Wärme-Kopplung ist ein weiterer sich abzeichnender Fehler. Ja, Kraft-Wärme-Kopplung (das heißt individuelle Kraftwerke in jedem Gebäude, die lokal Strom und Wärme, um die Gebäude zu heizen, erzeugen) kann ein etwas effizienterer Weg sein, als fossile Brennstoffe auf die übliche Weise (das heißt zentrale Kraftwerke und lokale Brennkessel) zu verwenden. Aber sie sind nur etwa 7% effizienter. Und sie verbrauchen fossile Brennstoffe! War das Ziel nicht, von fossilen Brennstoffen loszukommen? Tatsache ist, es gibt einen besseren Weg, lokal Wärme zu erzeugen: **Wärmepumpen. Gut:** Wärmepumpen sind rückwärts betriebene Kühlschränke. Elektrisch betriebene pumpen sie Wärme von Außen in das Gebäude – entweder aus der Luft oder aus der Erde. Die besten Wärmepumpen, vor kurzem in Japan entwickelt, haben eine Leistungszahl von 4,9, das bedeutet, dass durch den Verbrauch von 1 kWh Strom 4,9 kWh Wärme in Form von heißer Luft oder heißem Wasser erzeugt werden. Das ist ein viel effizienterer Weg, hochwertige Energie zu verwenden, um Wärme zu erzeugen, als einfach hochwertige Chemikalien zu verbrennen, was eine Leistungszahl von nur 0,9 hat.



Abbildung 13. **Gut:** Die Teile einer Wärmepumpe für Drinnen und Draußen. Sie hat eine Leistungszahl von 4. Zum Größenvergleich ein Kugelschreiber neben dem im Haus angebrachten Teil. Eines dieser Fujitsu-Geräte liefert 3,6 kW Wärme, für die 0,845 kW Strom verbraucht werden. Es kann auch rückwärts betrieben werden: eine Kühlleistung von 2,6 kW, für die 0,655 kW Elektrizität benötigt werden.



Abbildung 14. **Schlecht:** Windgeneratoren auf dem Dach. Die durchschnittliche Leistung, die von diesem Ampair „600 W“-Windgenerator in Leamington-Spa erzeugt wird, beträgt **0.037 kWh pro Tag** (1.5 W).

Schlecht: Auf dem Dach angebrachte Windgeneratoren sind eine Verschwendung von Ressourcen. Sie werden sich niemals rechnen. **Gut:** Im Gegensatz dazu ist eine auf dem Dach montierte solare Warmwassererzeugung immer eine gute Idee. Sie funktionieren wirklich: Sogar in Großbritannien, mit einer Sonnenscheinanteil von etwa 30%, kann ein bescheidenes 3-m²-Panel die Hälfte des Warmwasserbedarfs einer typischen Familie abdecken.

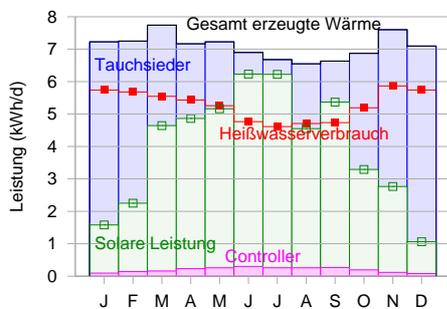


Abbildung 15. **Gut:** Leistung, die solar von einem 3-m²-Warmwassermodule (grün) erzeugt wird, sowie zusätzliche benötigte Wärme (blau) im Demonstrationshaus von Viridian Solar. (Das Foto zeigt ein Haus mit dem gleichen Modul-Modell auf dem Dach.) Die durchschnittliche solare Leistung aus 3 m² betrug **3.8 kWh/d**. Das Experiment simulierte den Heißwasser-Verbrauch eines durchschnittlichen europäischen Haushalts – 100 Liter heißes (60 °C) Wasser pro Tag. Die 1,5–2 kWh/d große Lücke zwischen der insgesamt erzeugten Wärme (schwarze Linie oben) und dem verbrauchten heißen Wasser (rote Linie) liegt an Wärmeverlusten. Die magentafarbene Linie zeigt die elektrische Energie, die zum Betrieb der Solaranlage benötigt wird. Die durchschnittliche Leistung pro Fläche dieser Solarmodule beträgt **53 W/m²**.

Schlecht: Handy-Ladegeräte abzuschalten ist eine wirkungslose Geste, als ob man die Titanic mit einem Teelöffel hätte retten wollen. Die weitverbreitete Aufnahme von „Handy-Ladegeräte abschalten“ in Listen von „10 Dinge, die Sie tun können“ ist schlecht, weil sie Aufmerksamkeit von Maßnahmen, die viel effektiver wären, ablenkt. **Gut: Das Thermostat herunterdrehen** ist die effektivste energiesparende Maßnahme, die für eine typische Person verfügbar ist - jedes Grad, das es niedriger eingestellt wird, reduziert Ihre Heizkosten um 10%. Heizen hat wahrscheinlich den größten Anteil am Energieverbrauch in britischen Gebäuden. Abb. 16 zeigt Daten von meinem Haus.

Dieses Buch ist nicht als Sammlung super-akkuratere Zahlen gedacht. Vielmehr soll es illustrieren, wie gerundete Zahlen in freundlichen und konstruktiven Gesprächen verwendet werden können. Dieses Buch befürwortet keinen bestimmten Energie-Plan oder eine bestimmte Technologie. Es sagt nur, wie viele Steine in der Lego-Kiste sind und wie groß jeder Stein ist, so dass der Leser selbst herausfinden kann, wie man einen Plan aufstellt, der aufgeht.

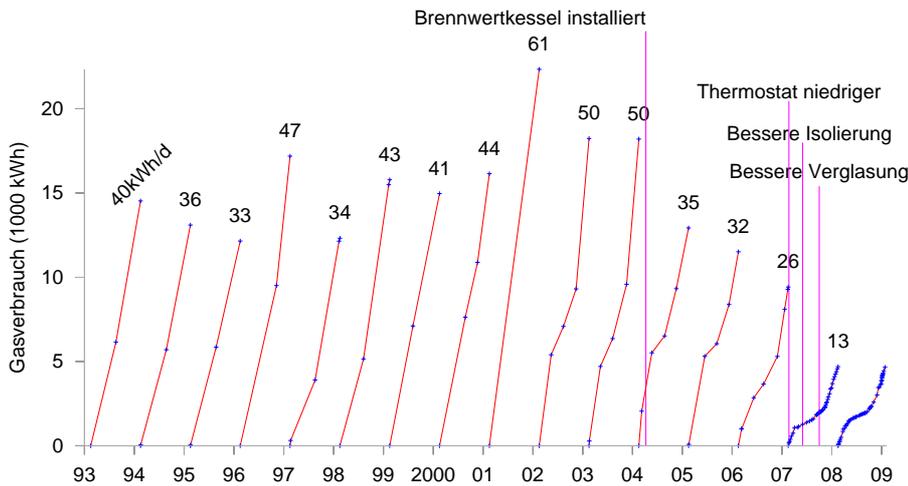


Abbildung 16. Mein Gasverbrauch von 1993 bis 2007. Jede Linie zeigt den Gesamtverbrauch während eines Jahres in kWh. Die Zahl am Ende einer jeden Linie zeigt den Durchschnittsverbrauch in kWh pro Tag. Ablesungen sind durch blaue Punkte dargestellt. Offensichtlich verbrauche ich um so weniger Gas, je öfter ich ablese!

Teil III - Technische Kapitel

Der dritte Teil des Buches geht tiefer auf die physikalischen Grundlagen von Energieverbrauch und -produktion ein. Acht Anhänge zeigen von einfachen Prinzipien ausgehend, wo die Zahlen in den ersten beiden Teilen herkommen. Die Anhänge erklären zum Beispiel, wie Autos viel energieeffizienter gemacht werden können und warum Flugzeuge nicht. Und sie erklären, wie die Leistung von Windkraftanlagen, Gezeitenkraftwerken und Wellenkraftwerken auf einem kleinen Stück Papier berechnet werden kann. Während der Hauptteil des Buches für jeden, der addieren, multiplizieren und dividieren kann, verständlich sein sollte, wenden sich diese technischen Anhänge an Leser, die mit Formeln wie „ $\frac{1}{2}mv^2$ “ vertraut sind.

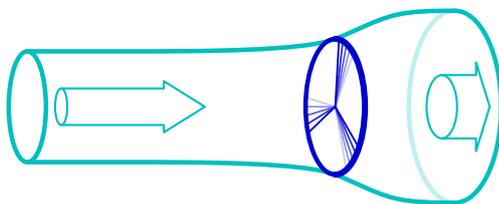


Abbildung 17. Luftströmung an einer Windturbine. Die Luft wird verlangsamt und von der Windturbine ausgebreitet.

Teil IV - Nützliche Daten

Die letzten 16 Seiten des Buches enthalten weitere nützliche Daten als Referenz sowie Umrechnungsfaktoren, die hilfreich sind, um die Ideen des Buches auf andere Länder anzuwenden und um von Einheiten und in Einheiten umzurechnen, die von anderen Organisationen verwendet werden.

2. Dezember 2008

Weitere Informationen

Das Buch ist online frei erhältlich: www.withouthotair.com. Das Buch ist von UIT Cambridge am 2. Dezember 2008 in Großbritannien und am 1. April 2009 in Nordamerika veröffentlicht worden. David MacKay ist Professor für Naturphilosophie am Institut für Physik an der University of Cambridge.