

ENERGIE(WENDE)

ZAHLEN UND ZUSAMMENHÄNGE VERSTÄNDLICH



		Seite
1	VORWORT	2
2	GRUNDBEGRIFFE	3
2.2	Energieumwandlungen	4
2.2	Energieeffizienz und Wirkungsgrad “ η ”	5
2.3	Energieeinheiten - Umrechnungen - physikalische Zusammenhänge	6
3	ENERGIETRÄGER	7
3.1	Fossile Energie	8
3.2	Erneuerbare Energien (E.en.):	12
3.3	Kernkraft	19
4	“NEGAWATT“ DIE UNTERSCHÄTZE – ENERGIEQUELLE	20
4.1	technisch – organisatorische Einsparmöglichkeiten	20
4.2	Lebensstil und Ressourcen	21
5	DIE “ENERGIEWENDE“	22
5.1	Notwendig oder kostspielige Ideologie ?	22
5.2	die Kostenfrage	23
5.3	die Rolle der Politik	27
5.4	Ökostrom an Stelle von fossilen Energieträgern	28
5.5	Speicherung und Transport von Strom	31
5.6	Ökostrom aus dem Sonnengürtel	32

1. VORWORT

Ungezählte Generationen in prähistorischer Zeit haben ihre Fertigkeiten nur in ganz kleinen Schritten weiterentwickelt. Teilweise wurden Jahrtausende benötigt, um Werkzeuge oder Waffen erkennbar zu verbessern obwohl sich der homo sapiens vor 20.000 oder 30.000 Jahren von seinen Anlagen her kaum von uns heute Lebenden unterschieden hat, wie z.B. Höhlenmalereien zeigen.

Hauptgrund für die rasante Beschleunigung der Entwicklung insbesondere nach dem Erscheinen der ersten Kulturvölker vor etwa 5.000 Jahren ist die Tatsache, dass Technik und Wissenschaft gewollt oder ungewollt eine Eigendynamik entwickeln.

Jede neue Erkenntnis, jede Innovation schafft wie in einem Schneeballsystem die Voraussetzung für die nächsten Schritte, sodass die Entwicklung – nicht zuletzt angetrieben durch den inzwischen weltweiten Wettbewerb - immer schneller abläuft. Ein Schneeballsystem, das nicht rechtzeitig abgebrochen oder in sinnvolle Bahnen gelenkt wird, muss aber über kurz oder lang kollabieren.

In unseren Tagen hat diese Entwicklung ein kritisches Tempo erreicht. Dazu kommt der ökologische Sprengstoff durch die noch nie da gewesenen Milliardenzahlen der Weltbevölkerung.

Technische und wissenschaftliche Fortschritte wurden in der Vergangenheit meist undifferenziert begrüßt. Nun aber müssen wir zur Kenntnis nehmen, dass "ein weiter so" in vielen Bereichen immer fragwürdiger wird wenn der eigentliche Sinn des Fortschrittes – ein besseres Leben für uns und unsere Nachkommen – nicht ins Gegenteil verkehrt werden soll. Besonders fragwürdig ist "Fortschritt" auf Kosten der Natur. Wir bedrohen damit nicht nur unsere eigenen Lebensgrundlagen sondern auch die Existenz von zahllosen anderen Formen des Lebens für die wir, gerade wegen unserer Sonderstellung in der Natur, auch eine große Verantwortung tragen.

Zu den wichtigsten Themen in diesem Zusammenhang gehört heute die Frage wie unser seit etwa 100 Jahren massiv anwachsender Energieverbrauch erstens überhaupt und zweitens ohne gravierenden Umweltschäden langfristig gedeckt werden kann.

Besonders geht es dabei um die fossilen Energieformen die derzeit noch die Basis unserer Energieversorgung bilden. Fossile Energieträger müssen aus endlichen Vorkommen abgebaut werden die – nach historischen Maßstäben – in relativ kurzer Zeit erschöpft sein werden. Die Verknappungen werfen ihre Schatten in Form von Preissteigerungen und sogar kriegerischen Konflikten bereits voraus.

Aber es gibt noch eine zweite, mit fossilen Energieträgern zusammenhängende Sorge: die Warnungen der Wissenschaft, dass die bei der Verbrennung entstehenden riesigen Mengen CO₂ und andere z.T. mit menschlichen Aktivitäten zusammenhängende Emissionen (Methan, Lachgas, FCKW usw.) zu einer irreversiblen Klimaerwärmung auf der Erde führen. Das Problem Klimaerwärmung, das im Übrigen bereits eindeutig wahrgenommen wird, ist möglicherweise von noch größerer Tragweite als die zu erwartenden Versorgungsengpässe bei Öl, Gas und Uran.

Der Zusammenhang zwischen den vom Menschen erzeugten Emissionen und dem Klimawandel wird zwar von einigen Experten bzw. Ländern in Frage gestellt. Angesichts der schwerwiegenden Folgen einer Klimaerwärmung wäre es aber unverantwortlich mit Hinweis auf angeblich fehlende Lücken in der Beweiskette diese Gefahr zu bagatellisieren oder gar zu ignorieren. Die Klimaerwärmung muss wie ein im Entstehen begriffener Brand gesehen werden, bei dem die Möglichkeiten zum Löschen bzw. zum Vermeiden von irreversiblen Schäden auch eine Frage des frühzeitigen Eingreifens sind. Atomenergie, vor 60 Jahren als bequeme und unversiegbare Energiequelle angekündigt, ist – obwohl CO₂ frei - aus heutiger Sicht keine Alternative. Sie trägt derzeit mit weniger als 6% am weltweiten Verbrauch an Primärenergie bei, hat keine realistische Möglichkeit diesen Anteil nennenswert zu erhöhen und ist angesichts des Gefahrenpotentials, das spätestens nach Tschernobyl und Fukushima allen bewusst wurde, nicht konsensfähig.

Erneuerbare Energien (**e.En.**) wie Sonne, Wind, Biomasse usw. könnten eine Lösung für beide Grundprobleme sein. Nicht zuletzt die in den letzten Jahren erzielten Fortschritte auf diesem Gebiet machen deutlich, dass sie als Ersatz für konventionelle Energieformen keinesfalls so unrealistisch sind, wie lange Zeit behauptet wurde.

Die großen Zweifel über die Kapazität und/oder Bezahlbarkeit der **e.En.** werden derzeit durch die konkrete Umsetzung mehr und mehr entkräftet. Wobei Bezahlbarkeit innerhalb gewisser Grenzen im wesentlichen auf die Frage hinausläuft ob und wie weit wir Bürger bereit sind, vorübergehend gewisse Mehrkosten für Energie zu akzeptieren.

Die Frage der energetischen Weichenstellung ist also hochaktuell und wird derzeit auch von vielen Bürgern diskutiert.

Das ist zu begrüßen, aber sinnvolle Diskussionen setzen neben einer konstruktiven, nicht von Partikularinteressen oder bloßer Ideologie diktierten Grundhaltung vor allem auch die Kenntnis der wichtigsten Zahlen, Daten und Zusammenhänge voraus. Dazu gehört auch die richtige Interpretation gewisser physikalischer Grundlagen.

Diese Schrift versucht in möglichst kurzer und für interessierte Laien verständlicher Form auf diese Thematik einzugehen.

Das gesammelte Wissen zum Thema Energie, das im übrigen derzeit Mühe hat mit der rasanten Entwicklung Schritt zu halten, hat einen immensen Umfang angenommen und kann auch nicht annähernd auf die wenigen Seiten reduziert werden die hier vorgesehen sind.

Die Zusammenhänge sind zudem meist kompliziert und fachübergreifend. Fundiertes Wissen ist Sache der Spezialisten, aber Detailwissen in einer bestimmten Nische schützt oft nicht vor Unwissenheit in einer anderen. Auch das Aneinanderreihen von Detailwissen aus vielen Quellen führt nicht wirklich weiter. Es birgt eher die Gefahr, dass Verfasser wie Leser irgendwann "den Wald vor lauter Bäumen nicht mehr sehen".

Viele Daten sind auch unter Experten umstritten, aber auch offensichtlich nicht haltbare Interpretationen sind häufiger als man annehmen würde. Nicht selten werden bloß vermutete oder geglaubte Sachverhalte, oder von bestimmten Interessen geprägte Darstellungen als Fakt hingestellt.

Die angestrebte Übersichtlichkeit, nicht zuletzt nach dem Motto "weniger ist oft mehr" und die Möglichkeiten und Grenzen der Dokumentation zwingen daher zu einer rigorosen Auswahl bei den behandelten Themen. Viele Details mussten deshalb vernachlässigt, Vereinfachungen und kleine rechnerische Ungenauigkeiten bewusst in Kauf genommen werden.

Im Vordergrund steht der Gedanke, dass in einer Grundsatzdiskussion nicht die Ziffer hinter dem Komma entscheidend ist, sondern die Größenordnung und die wirklichkeitsnahe Einordnung in den Gesamtkomplex. Die wissenschaftliche Korrektheit, soweit es um Grundsätzliches geht bzw. um eindeutige mathematisch – physikalische Zusammenhänge, soll aber immer Priorität besitzen.

Trotz allem Bemühen um Sorgfalt und um die Verlässlichkeit der Quellen kann natürlich nie das "errare humanum est" (irren ist menschlich) ausgeschlossen werden.

Neben den Erläuterungen zu den technischen und naturwissenschaftlichen Aspekten, soll insbesondere auch auf die wirtschaftlichen eingegangen werden. U.a. geht es um die Frage ob die offensichtlich vorprogrammierte Entwicklung hin zu einer weitgehend auf **e.En.** basierenden Grundversorgung aus einer wirtschaftlichen Gesamtsicht eher beschleunigt oder verzögert werden sollte.

Nicht zuletzt sollen typische Missverständnisse geklärt werden die oft genug zu überflüssigen Polemiken führen, weil unterschiedliche Personen Begriffe oft unterschiedlich interpretieren.

Z.B wird häufig Stromverbrauch und Energieverbrauch gleichgesetzt. Elektrischer Strom ist nur ein Teil der insgesamt benötigten bzw. produzierten Energie. Der Begriff Energieverbrauch – sofern er nicht ausdrücklich eingegrenzt wird – ist aber umfassender d.h. er bezieht sich auf die Gesamtheit der benötigten Energie also z.B. auch auf den Bedarf an Wärme und für den Verkehr.

2. GRUNDBEGRIFFE

2.1 ENERGIEUMWANDLUNGEN

Energie tritt in vielen unterschiedlichen Formen in Erscheinung und kann mit oder ohne menschlichem Zutun von einer Erscheinungsform in eine andere verwandelt werden.

Zwar gilt immer der von Robert Mayer 1842 formulierte Satz der klassischen Physik der besagt, dass die Summe der vorhandenen Energieinhalte vor und nach einer Umwandlung gleich ist.

Das Problem ist aber, dass bei jeder Energieumwandlung neben der erwünschten neuen Form immer auch andere Formen entstehen die nicht genutzt werden können und daher aus menschlicher Sicht als Verlust abgeschrieben werden müssen.

Neben den Energieumwandlungen gibt es noch eine Vielzahl von anderen Ursachen die zu Verlusten führen, wie der Transport oder die Speicherung von Wärme oder Strom.

Bei den Aussagen zum Energieinhalt stellt sich somit fast immer die Frage ob der Zustand vor oder nach einer Umwandlung gemeint ist. Oft genug ist dann für den einen selbstverständlich was für den anderen nicht in Betracht gezogen wird, womit Missverständnissen Tür und Tor geöffnet wird. Hilfreich bei der Beurteilung von Energiebilanzen ist die übliche Einteilung in:

- Primärenergie = in der Natur vorgefundene Energievorräte wie Kohle, Erdöl, Erdgas, Uran
- Sekundärenergie = umgewandelte Primärenergie z.B. Elektrizität ab Kraftwerk
- Endenergie = beim Verbraucher verfügbare Energie z.B. Benzin an der Tankstelle
- Nutzenergie = Energie für den eigentlich angestrebten Effekt z.B. die Bewegung eines Autos

Die technischen und physikalischen Vorgänge sind aber so vielseitig, dass es meist zusätzlichen Klärungsbedarf gibt.

Ein Beispiel dafür, dass nicht alle Komponenten einer Energiebilanz ohne weiteres in diese Klassifizierung passen sind die erneuerbaren Energien (**e.En.**). Solar - oder Windstrom sind natürlich ebenfalls ein Teil der gesamten Energiegewinnung und könnten – da direkt aus der Natur bezogen – gleichwertig wie Kohle als Primärenergie eingestuft werden. Würde man dies tun (was gelegentlich geschieht) dann ergibt sich aber ein schiefes Bild.

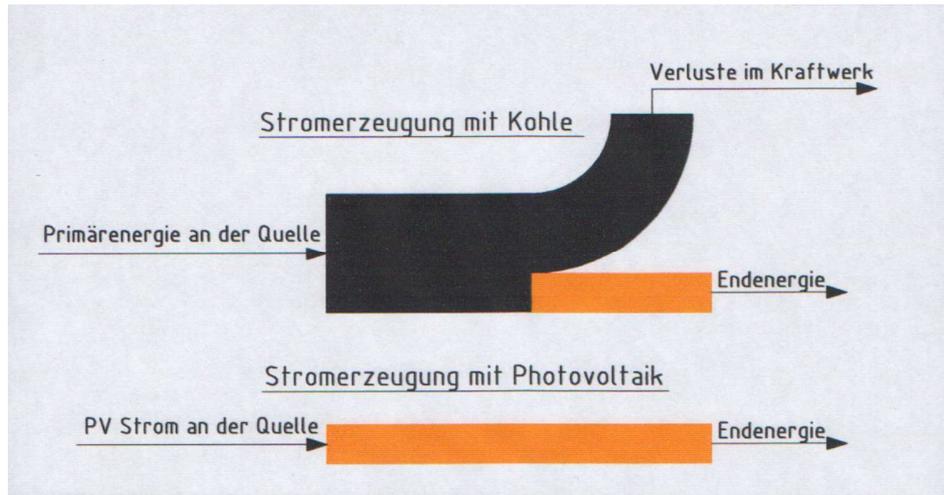
Eine Energieform die schon an der Quelle als elektrische Energie zur Verfügung steht, wie z.B. Solarstrom, kann nicht einfach nach dem Kriterium Energieinhalt z.B. mit fossilen Energieträgern verglichen werden, die oft erst mit großen Verlusten z.B. verstromt werden müssen.

Die hier angedeutete Problematik wird auch durch die Begriffe “Wertigkeit“ einer Energieform berücksichtigt.

Um eine gewisse Vergleichbarkeit von fossilen Energieformen die erst verstromt werden müssen und Energie aus Wind - Solar und Wasserkraft zu erhalten, werden letztere bei Bilanzen bezogen auf den Status “Primärenergie“, üblicherweise mit einem Faktor in der Größenordnung von ca. 3 multipliziert. Dieser Faktor (z.B. nach der “Substitutionsmethode oder “Wirkungsgradmethode“) berücksichtigt, dass sie im Durchschnitt etwa die 3 fache Menge an zu verstromender fossiler Energie ersetzen. Damit kommt man der Realität näher, wenngleich eine mathematisch exakte Gleichwertigkeit nicht durch einen einheitlichen Faktor dargestellt werden kann weil einerseits die Wirkungsgrade bei der Stromerzeugung variieren und andererseits Energieträger nicht nur zur Stromerzeugung eingesetzt werden.

Wird Primärenergie direkt in Form von Wärmen genutzt, sind die Energieträger weitgehend gleichwertig. In einer Energiebilanz ist daher sehr wohl zu präzisieren was genau gemeint ist.

Von der Quelle zur Endenergie - Kohlekraftwerk und PV im Vergleich



Quelle: Verfasser

2.2 ENERGIEEFFIZIENZ UND WIRKUNGSGRAD “ η “ (eta)

Der Wirkungsgrad η (eta) ist ein Maß für die Effizienz, mit der eine Energieumwandlung oder ein anderer mit dem Einsatz von Energie verbundener Vorgang abläuft.

$$\eta = (\text{eingesetzte Energie} - \text{Verlusten}) / (\text{eingesetzte Energie})$$

Da jeder Energieeinsatz mit Verlusten verbunden ist muss η immer kleiner sein als 1 ($\eta < 1$)
Wie weit es gelingt Verluste zu vermeiden d.h. sich dem angestrebten Idealwert $\eta = 1$ zu nähern, hängt von vielen Faktoren ab, z.B. von der Qualität der Anlage oder der Maschine, vom physikalischen Prinzip das zur Anwendung kommt, oft auch vom Verhalten des Verbrauchers.
Ein entscheidender Beitrag zur Lösung der Energieprobleme ist die konsequente Verbesserung des Wirkungsgrades η in allen Bereichen, die mit einem gewissen Aufwand fast immer möglich ist.

Im Beispiel Kohlekraftwerk ist derzeit z.B. ein maximaler Wirkungsgrad von $\eta \approx 0,45$ erreichbar, d.h. im besten Fall werden 45% der eingesetzten Primärenergie in Strom verwandelt. Tatsächlich liegt der Wirkungsgrad im weltweiten Durchschnitt mit $\eta \approx 0,31$ aber deutlich darunter.

Der Begriff “Energieeffizienz“ umfasst aber nicht nur Energieumwandlungen sondern alle Vorgänge die mit dem “Verbrauch“ von Energie verbunden sind wie z.B. der Transport oder die Speicherung von Wärme oder Strom.

Ein Schwergewicht ist in diesem Zusammenhang der Wärmebedarf von Gebäuden der z.B. in Deutschland mehr Energie verbraucht wie der Verkehr. Mindestens die Hälfte davon könnte durch simple Wärmedämmungen eingespart werden. Ja, es gibt bei Neubauten bereits die Möglichkeit die Energiebilanz eines Gebäudes positiv zu gestalten (Plusenergie – Gebäude) d.h. das Gebäude gibt mehr Energie ab als es verbraucht.

Auch **Energieverluste** haben durchaus **unterschiedliche Wertigkeiten**.

Energieverluste sind von entscheidender Bedeutung wenn die Energie aus begrenzten Vorräten zugeführt werden muss wie bei der fossilen Energie. Verluste belasten hier die Vorräte und die Umwelt genauso wie der genutzte Anteil.

Bei erneuerbaren Energien (**e.En.**) sind bescheidene Wirkungsgrade aber leichter zu verschmerzen. Sonne scheint und Wind weht, ob wir sie nutzen oder nicht. Die Kosten für die Infrastrukturen steigen natürlich auch hier mit schlechteren Wirkungsgraden, aber einmal erstellt, verursachen sie weder weitere Kosten, noch Umweltschäden, noch werden begrenzte Vorräte verbraucht.

2.3 ENERGIEEINHEITEN - PHYSIKALISCHE ZUSAMMENHÄNGE -UMRECHNUNGEN

Es sind eine Vielzahl von Energieeinheiten und entsprechend viele Umrechnungsfaktoren im Gebrauch. Die gut gemeinte Absicht mit Einheiten wie z.B. SKE (Steinkohleneinheit) oder ÖE (Öleinheit) Energiemengen besser vorstellbar zu machen, dürfte in der Praxis meist das Gegenteil bewirken. Tatsächlich führt die unnötige Vielfalt bei den Einheiten eher dazu, dass Vergleiche erst nach Berechnungen möglich sind, die selbst für Fachleute recht mühselig und fehleranfällig sein können.

Zumindest in Europa dürfte daher die ausschließliche Benützung der vom **Internationalen Einheitssystem (SI)** abgeleiteten Größen am sinnvollsten sein. Abgeleitet von diesem System kann der Energieinhalt durch zwei unterschiedliche Basiseinheiten definiert werden. Der Hauptgrund für diese Doppelgleisigkeit ist der, dass die elektrische Energie eine gewisse Sonderstellung einnimmt d.h. meist durch elektrische Einheiten definiert wird. Diese 2 Basiseinheiten sind:

1. das **Joul (J)** und abgeleitete Größen..... $1 \text{ J} = \text{Kraft } 1 \text{ N} \times \text{Weg } 1 \text{ m}$
2. die **Wattsekunde (Ws)** und abgeleitete Größen..... $1 \text{ Ws} = \text{Leistung } 1 \text{ W} \text{ fließt } 1 \text{ Sekunde}$

bezogen auf den Energieinhalt gilt: $1 \text{ J} = 1 \text{ Ws}$

Das **Joul** und seine Ableitungen (**z.B. kJ, MJ usw.**) werden meist verwendet, wenn es sich um mechanische oder chemisch gebundene Energie handelt. Die **Wattsekunde** und ihre Ableitungen (**z.B. KWh, MWh usw.**), wenn es um elektrische Energie geht. Auf Grund der Gleichwertigkeit der Einheiten könnte man aber z.B. den Energieinhalt von 1 Liter Benzin ebenso gut in KWh wie in kJ angeben.

Kilo, Mega, Giga..

Vorsilbe	bedeutet	Symbol	Faktor	Faktor
Kilo	Tausend	k	1.000	10^3
Mega	Million	M	1.000.000	10^6
Giga	Milliarde	G	1.000.000.000	10^9
Tera	Billion	T	1.000.000.000.000	10^{12}
Peta	Billiarde	P	1.000.000.000.000.000	10^{15}
Exa	Trillion	E	1.000.000.000.000.000.000	10^{18}

Umrechnungsfaktoren von elektrischen Einheiten in Joul – Werte

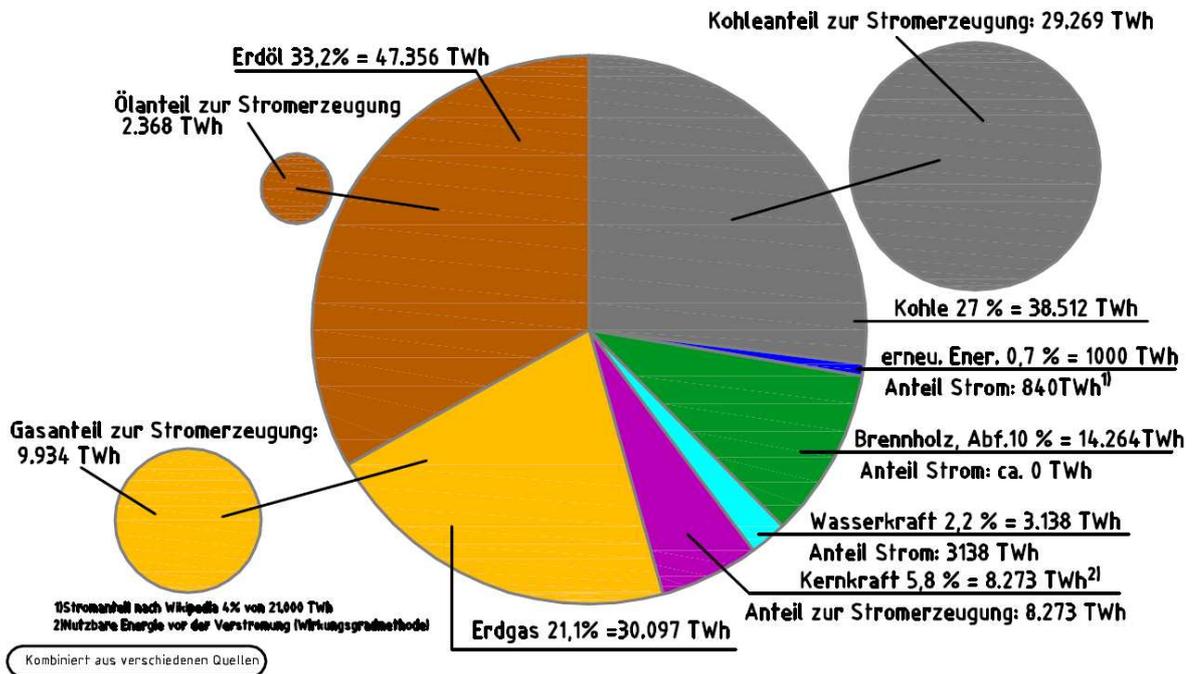
Einheit	spricht	entspricht	entspricht auch
1WS	Wattsekunde	1 J	
1 kWh	Kilowattstunde	3600 kJ	3,6 MJ
1 MWh	Megawattstunde	3600 MJ	3,6 GJ
1 GWh	Gigawattstunde	3600 GJ	3,6 TJ
1 TWh	Terawattstunde	3600 TJ	3,6 PJ
1PWh	Petawattstunde	3600 PJ	3,6 EJ

Umrechnungsfaktoren von Joul –Werten in elektrische Einheiten (gerundet)

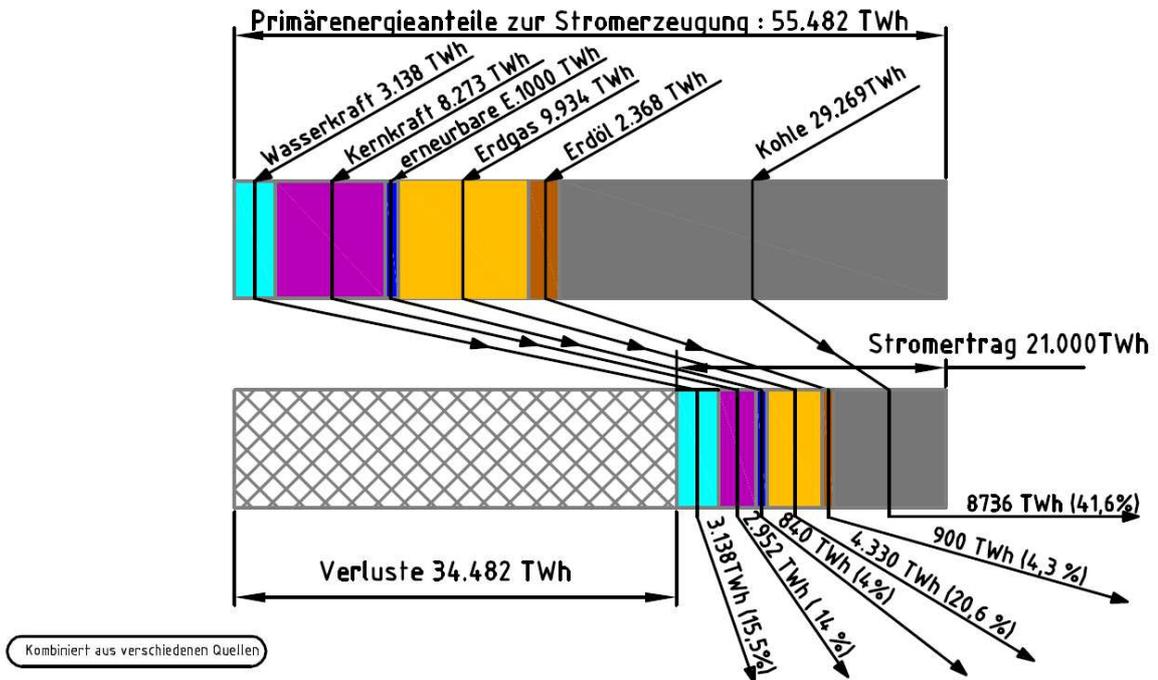
Einheit	spricht	entspricht	entspricht auch
1J	1 Joul	1Ws	0,000.000278 kWh
1 kJ	1Kilojoul	0,000278 kWh	
1 MJ	1Megajoul	0,278 kWh	0,000.278 MWh
1 GJ	1Gigajoul	278 kWh	0, 278 MWh
1 TJ	1Terajoul	278 MWh	0,278 GWh
1 PJ	1Petajoul	278 GWh	0,278 TWh
1 EJ	1 Exajoul	278 TWh	0,278 PWh

3. ENERGIETRÄGER

Primärenergieverbrauch 2008 Welt: ca. 142.640 TWh



Stromproduktion 2009 Welt: ca. 21.000 TWh



Grob angenähert kommt die Primärenergie mit folgenden Anteilen zum Einsatz*:

- 40% Stromproduktion
- 38% Wärme (einschl. Industrie)
- 22% Verkehr

* Durchschnitt aus unterschiedlichen Quellenangaben, z.T. errechnet

Einteilung der Energieträger nach Verfügbarkeit u.a. in:

- fossile Energie: Kohle, Öl, Erdgas ⁽¹⁾
- erneuerbare Energie: (e.E.) Sonne, Wind, Biomasse, Wasserkraft, Geothermie ⁽²⁾
- Sonderform : Atomenergie

(1) nutzbar nur "solange der Vorräte reicht" - CO₂ Ausstoß

(2) aus menschlicher Sicht unerschöpflich - kein CO₂ Ausstoß

Einteilung der Energieträger nach der physikalisch – chemischen Natur u.a. in :

- chemisch gebundene Energie z.B. in Form von Kohle, Erdöl oder Biomasse
- Wärmeenergie
- elektrische Energie
- Energie der Lage z.B. von Wasser im hochgelegenen Stausee
- Bewegungsenergie z.B. im Wind
- Strahlungsenergie (Sonne)

3.1. FOSSILE ENERGIE

Die Energie mit Ablaufdatum und großen Umweltproblemen

Fossile Energieträger bestehen aus den Resten von Pflanzen und Tieren, die sich im Laufe von vielen Jahrmillionen abgelagert und durch Druck und Hitze in die Erscheinungsform Kohle, Erdöl oder Erdgas verwandelt haben. Die Angaben über die Reichweite der Vorräte divergieren stark da:

- die weltweite Exploration noch nicht abgeschlossen ist d.h. es werden immer wieder neue Vorkommen entdeckt. Allerdings ist mit sehr reichen Neufunden nicht mehr zu rechnen.
- bei vielen, an sich bekannten Vorkommen ist es eine Frage der Wirtschaftlichkeit und des technischen Aufwandes ob und wie weit ein Abbau (noch) sinnvoll ist. Dabei können sich die Voraussetzungen im Lauf der Zeit ändern.
- Bedarfesprognosen sind auf Annahmen angewiesen die sich auch essentiell voneinander unterscheiden können.

Üblicherweise wird zwischen **“Reserven“** und **“Ressourcen“** unterschieden wobei man den Begriffen folgende Bedeutungen zuordnet:

- **“Reserven“** sind bekannte, unter heutigen Voraussetzungen wirtschaftlich abbaubare Vorräte
- **“Ressourcen“** sind alle bekannten und z.T. sicher vermuteten Vorräte, einschließlich jenen, die unter den heutigen Voraussetzungen nicht oder nur unwirtschaftlich abgebaut werden könnten.

Das deutsche Bundesministerium für Wirtschaft nannte 2007 für die wichtigsten fossilen Energieträger die nachfolgenden Richtwerte zur Nachhaltigkeit der weltweiten **“Reserven“**.

- | |
|---|
| <ul style="list-style-type: none">- Erdöl: ca. 45 Jahre- Erdgas: ca. 67 Jahre- Kohle: ca. 190 Jahre |
|---|

Quelle: Effiziente Haustechnik 2007

Tatsächlich wird der Ablauf sicher nicht so sein, dass z.B. Öl bis zum Tag x ausreichend vorhanden ist und am Tag x +1 plötzlich versiegt. Zu rechnen ist vielmehr mit einer zunehmenden Verknappung, verbunden mit steigenden Kosten und Beschaffungsschwierigkeiten bis hin zu internationalen Konflikten.

Ob die akute Verknappung gegenüber den aktuellen Schätzungen einige Jahre oder Jahrzehnte früher oder später eintritt, ändert nichts an diesem Grundproblem.

Die von den Vorräten her scheinbar noch unproblematische Kohle erlaubt in Wirklichkeit keine Entwarnung da sie unter dem Aspekt CO₂ Emissionen unter den fossilen Energieträgern am schlechtesten abschneidet. Dazu kommen weitere Schadstoffe bei der Verbrennung, oft großräumige Landschaftsschäden bei der Förderung und sehr begrenzte Möglichkeiten der Leistungsanpassung bei der Verstromung.

CO2 Emissionen durch Verbrennung von fossilen Energieträgern

Energieträger	CO2 kg / kWh* = Mt/TWh*
Kohle	0,32
Leichtöl	0,27
Erdgas	0,19

Quelle: BP CO2 Rechner

* kWh bzw. TWh hier bezogen auf den Primärenergie - Inhalt.

Die gleiche Energiemenge aus Erdgas produziert somit nur $0,19/0,32 \approx 60\%$ der CO2 Menge aus Kohle. Dazu kommt, dass die Verstromung von Erdgas in einem Gas und Dampfkraftwerk (GuD) mit einem deutlich besseren Wirkungsgrad erfolgt als die von Kohle (η bis 0,6 gegenüber η bis 0,45). Unter Berücksichtigung beider Faktoren kann man grob davon ausgehen, dass bei der Stromproduktion die CO2 Emissionen von Erdgas gegenüber Kohle heute weniger als die Hälfte betragen.

Bezogen auf die tatsächlich verbrannten Mengen an fossilen Energieträgern produzieren diese weltweit etwa die nachfolgenden Anteile an CO2:

	Primärenergie gesamt TWh	CO2 Emiss. gesamt Mio. t (1)	CO2 % (1)	Primärenergie TWh zur Stromerzeug.	CO2 Mio.t Emiss. nur Strom
Kohle	36.918	11.814	39,3	28.180	9.018
Erdöl	45.954	12.408	41,3	2.415	652
Erdgas	30.722	5.835	19,4	10.080	1915
Summe	113.594	30.057	100	40.675	11.585

1) Berechnung nach Schaubild Seite 7 und CO2 Faktoren nach Tabelle CO2 Emission (CO2 Emission aus anderen Quellen vernachlässigt)

Die CO2 Emissionen zur Förderung und Verarbeitung der fossilen und nicht fossilen Energieträger bleiben hier unberücksichtigt, ebenso die Emissionen die nicht durch Verbrennung entstehen z.B. in der chemischen Industrie. U.a. hat die weltweite Brandrodung von Urwäldern neben dem Artensterben auch einen CO2 Ausstoß zur Folge, dessen Anteil vom Weltklimarat (IPCC) auf etwa 17 % geschätzt wird. (bezogen auf die über den natürlichen Kreislauf hinausgehenden Emissionen) (Quelle: VDI Nachrichten Nr.20/ 2011)

3.1.1 Kohle

Weltweit werden gefördert:

Steinkohle: ca. 5.293 Mio. t

Braunkohle: ca. 891 Mio. t

Quelle: Agenda 21 dpa Globus

Der Anteil von Kohle beträgt derzeit etwa:

- 28,6 % am globalen Aufkommen an Primärenergie
- 39,3 % am globalen CO2 Ausstoß.

Verwendung der Steinkohle:

- ca. 2/3 als Brennstoff in Kraftwerken zur Stromproduktion:
- in der Eisenindustrie (zur Reduktion von Eisenerz und als Wärmelieferant)
- in der chemischen Industrie, als Asphalt usw.

Verwendung von Braunkohle: vorwiegend für die Stromproduktion.

Kohle kann mit Wasserstoff zur Herstellung von gasförmigen (Methan) oder zu flüssigen Kraftstoffen (Methanol) verwendet werden.

Derzeit beobachtet man rund um den Globus den Neubau von zahlreichen Kohlekraftwerken. Oft handelt es sich um den Ersatz von uneffizienten Werken durch effizientere. Während man diese Fälle aus ökologischer Sicht teilweise noch positiv bewerten kann, dürfte der generelle Ausbau von Kohlekraftwerken auf Grund der CO₂ Problematik heute kaum noch vertretbar sein.

CO₂ kann mittels CCS Technik (Carbon dioxide Capture and Storage) in Kavernen oder auf dem Meeresboden deponiert werden d.h. der Austritt in die Atmosphäre könnte damit großteils verhindert werden.

Dies muss jedoch mit einem erheblichen technischen Aufwand, d.h. auch mit Mehrkosten und einem deutlichen Mehrverbrauch an Kohle erkauft werden. Zudem ist die Verlässlichkeit einer Lagerung über lange Zeiträume umstritten. Derzeit existieren einige kleine Pilotanlagen. Großtechnische Bedeutung könnte die CCS Technologie frühestens in 15 – 20 Jahren erreichen.

Aus all diesen Gründen ist diese Technik umstritten, insbesondere auch die Frage ob und wie weit Investitionen z.B. in e.En. langfristig sinnvoller wären.

Auf einen gewissen Anteil an Kohlekraftwerken zur Deckung der Grundlast kann aber mit hoher Wahrscheinlichkeit noch für viele Jahrzehnte nicht verzichtet werden.

Auch wenn ein bedeutender Anteil des Energiebedarfes durch e.En. gedeckt wird, können normalerweise abgeschaltete konventionelle Kraftwerke noch eine wichtige Funktion als stille Reserve übernehmen, z.B. für den Fall von politisch oder technisch bedingten Ausfällen.

3.1.2 Erdöl

ERDÖLFÖRDERUNG (in Mio. t)*

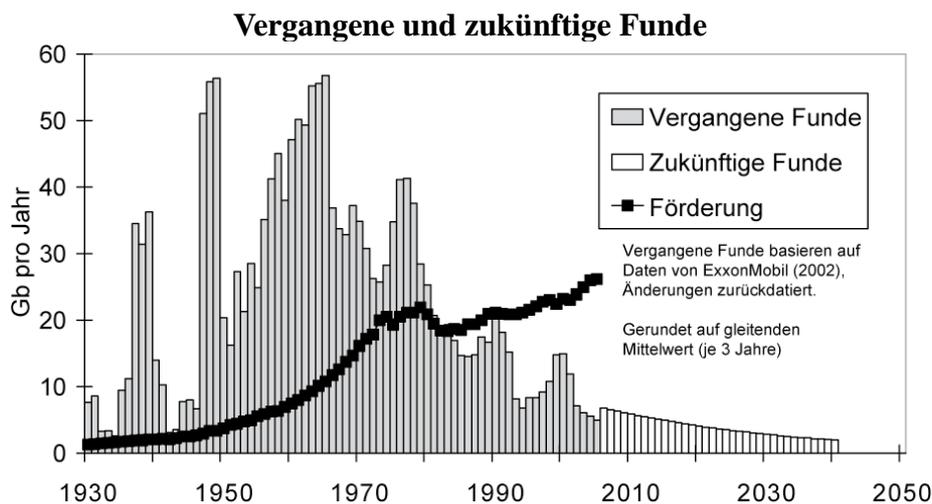
STAAT	1980	1990	2000	2006
Saudi-Arabien ¹	496,4	321,9	450,6	525,0
Russland	603,0 ²	548,8 ²	323,3	485,0
USA	482,2	414,5	352,6	313,6
Mexiko	106,8	147,7	171,2	185,5
Iran ¹	76,6	157,1	187,5	198,0
China	106,0	137,6	162,6	186,0
Venezuela ¹	112,9	110,6	171,6	151,0
Norwegen	24,4	81,8	160,5	130,4
Kanada	83,0	92,2	126,9	152,0
Vereinigte Arabische Emirate ¹	82,6	102,0	117,0	137,0
Kuwait ¹	81,4	58,7	103,3	135,0
Welt (insgesamt)	3 059,1	3 158,1	3 601,3	3 942,2

1) OPEC-Länder
 2) UdSSR, einschließlich flüssigen Erdgases
 (*Quellen: Meyers Lexikon online, Stat. Jahrbücher, UN Statistics Division, Joint Oil Data Initiative)

Der Anteil von Erdöl beträgt derzeit etwa:

- 35,6 % am globalen Aufkommen an Primärenergie
- 41,3 % am globalen CO₂ Ausstoß.

Erdöl wird vor seiner Nutzung in der Raffinerie zu unterschiedlichen Produkten verarbeitet. Diese Produkte (Erdölderivate) werden etwa zu 82 % als Energielieferanten genutzt (in Form von Treibstoffen und Heizöl) etwa zu 9% als Grundstoff für die chemische Industrie und der verbleibende Rest für unterschiedliche Zwecke wie z.B. als Bitumen, Schmieröle usw.



Die Abhängigkeit der weltweiten Energieversorgung vom Erdöl ist mit großen Problemen verbunden, darunter:

- politische Abhängigkeit von den großen Förderländern
- größter Anteil am weltweiten CO₂ Ausstoß
- zunehmende, bereits spürbare Verknappung. Der “peak oil“ d.h. der Zeitpunkt an dem die weltweite Ölförderung das technisch mögliche Maximum erreicht, ist nach Meinung vieler Experten bereits erreicht oder steht unmittelbar bevor.

Damit sollte Erdöl im Wesentlichen jenen Bereichen vorbehalten bleiben in denen es zumindest mittelfristig unersetzlich ist, d.h. im Mobilssektor sowie als Grundstoff für die Chemie.

Öl einfach für Heizzwecke oder zur Stromerzeugung zu verbrennen bedeutet in der gegebenen Situation ein Verschleudern von wertvollen Ressourcen da die Wärme - und Stromproduktion am einfachsten durch andere Energieträger ersetzt werden kann, insbesondere durch erneuerbare.

Absatzsorgen für die Ölförderländer wird es aufgrund der begrenzten Vorräte nie geben. Es liegt daher eher in ihrem wohlverstandenen Eigeninteresse auch dann noch über Reserven zu verfügen, wenn Öl irgendwann sozusagen mit dem Tropfenzähler verkauft wird.

3.1.3 Erdgas

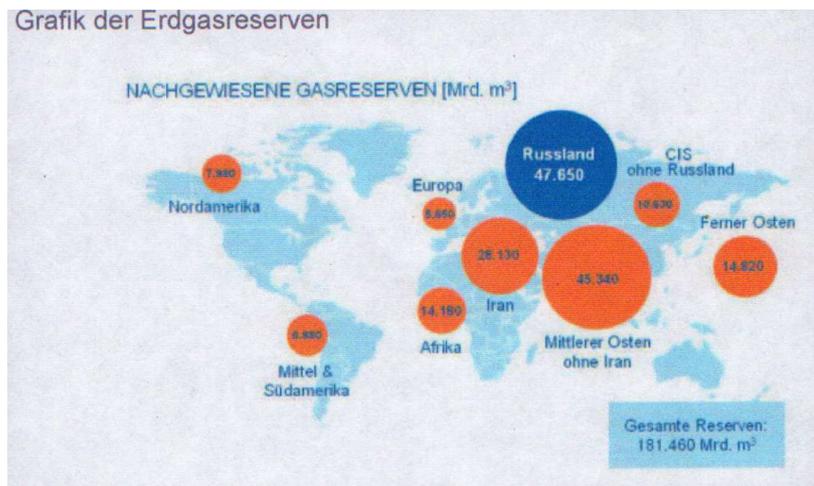
Erdgas besteht je nach Fundstätte zu 75% bis 99 % aus Methan (CH₄). In kleineren Mengen enthält es meist auch die Kohlenwasserstoffe Ethan, Propan, Butan sowie weitere, z.T. unerwünschte gasförmige Bestandteile.

Die Anteile von Ergas am Energieaufkommen bzw. am CO₂ Ausstoß betragen derzeit etwa:

- 23,8 % am globalen Aufkommen an Primärenergie
- 19,4 % am globalen CO₂ Ausstoß

Die Nachhaltigkeit von Erdgas ist deutlich höher als bei Erdöl, wenngleich es noch erhebliche Unsicherheiten hinsichtlich der Fördermöglichkeiten gibt. Diese Unsicherheiten sind teilweise dadurch bedingt, dass große Mengen Methan in “unkonventioneller“ Form vorhanden sind z.B. in Form von “Schiefergas“. Dabei wird das Gas durch ein chemisch- mechanisches Verfahren aus porösen Gesteinsschichten herausgepresst. Dieses “Fracking“ – Verfahren ist jedoch wegen möglicher Umweltschäden umstritten aber auch bei den technisch - wirtschaftlichen Voraussetzungen gibt es noch viele Bedenken.

Mengenmäßig bereits bedeutend ist die Förderung von “Schiefergas“ in den USA. Aber auch in Westeuropa gibt es bedeutende unkonventionelle Gasvorkommen die nach diesem Verfahren gefördert werden könnten, bzw. bereits gefördert werden.



Quelle: Wikipedia

Im sibirischen Permafrost sind riesige Mengen Methan oberflächlich gebundenen. Diese sind derzeit technisch nicht nutzbar, sie stellen vielmehr eine große Gefahr dar, weil sie mit der zunehmenden Klimaerwärmung in die Atmosphäre entweichen und damit den Treibhauseffekt massiv verstärken könnten. Methan hat als Treibhausgas eine etwa 27 x stärkere Wirkung als CO₂.

Die größten Methan - Ressourcen werden in den Methanhydraten auf dem Meeresgrund vermutet. Es handelt sich dabei um Methan das durch die dort herrschenden Drücke und Temperaturen an Wasser gebunden eine eisförmige Konsistenz annimmt. Die kommerzielle Nutzung ist derzeit aber technisch und aus Gründen des Umweltschutzes nicht möglich.

Erdgas hat als Energieträger gegenüber Erdöl bzw. Kohle prinzipielle Vorteile:

- geringster CO₂ Ausstoß bezogen auf den Energiegewinn, (bei Verstromung ca. 50% gegenüber Kohle)
- einfache und relativ umweltfreundliche Förderung (bei konventionellen Vorkommen)
- Transport über lange Strecken und kapillar bis in die einzelnen Häuser durch Leitungen
- Verteilernetz und große Speicher in den Industriestaaten großteils schon vorhanden
- bei Verstromung einfache und schnelle Anpassungsfähigkeit an den Bedarf.
- Geignet für kleine Kraftwerke in Siedlungsnähe, besonders mit Wärmekoppelung (KWK)
- In das bestehende Verteilersystem kann auch Biogas und ev. indirekt durch Solar – und Windstrom erzeugtes Methan eingespeist werden (Methanisierung von Wasserstoff). Das Gasnetz könnte damit einen Teil der notwendigen Speicherfunktion für **e.En.** übernehmen.

Damit ist Erdgas besonders geeignet um bis zum Erreichen der angestrebten → Energiewende eine Hauptrolle als “Brückentechnologie“ zu übernehmen. Aber auch danach hat Erdgas, ergänzt durch Biogas, voraussichtlich noch eine wichtige ergänzende Funktion.

3.2 ERNEUERBARE ENERGIEN (e.En.)

3.2.1 Sonnenenergie

Überall vorhanden, gefahrlos, für alle Zeiten ausreichend, aber großer Flächenbedarf und fluktuierend

Außerhalb der Atmosphäre beträgt die von der Sonne eingestrahlte Energie ca. 1,37 KW /m² (Solarkonstante). Davon erreichen bei wolkenlosem Wetter und in Abhängigkeit von der geografischer Breite etwa 1 KW /m² die Erdoberfläche.

Bezogen auf die von der Sonne beschienene Erdoberfläche entspricht dies etwa dem 10.000 fachen des gesamten derzeitigen Primär - Energiebedarfes der Menschheit.

Zu berücksichtigen ist dabei, dass sich der Bedarf an Primärenergie bei einem großen Anteil an Solarstrom allein dadurch stark reduzieren würde, dass der Strom sozusagen "netto" anfällt d.h. nicht erst mit großen Verlusten aus fossiler Energie produziert werden muss. Auch wenn nur ein kleiner Teil der eingestrahnten Sonnenenergie technisch genutzt werden kann wäre diese Quelle damit für alle Zeiten ausreichend um den gesamten Energiebedarf der Menschen zu decken. Und dies dezentral überall auf der Welt.

Solarenergie kann thermisch zur direkten Wärmeerzeugung, zur thermosolaren Stromerzeugung oder zur photovoltaischen Stromerzeugung (PV) genutzt werden. Auch Kühlung durch Sonnenenergie funktioniert.

Die direkte Nutzung zur Warmwasserproduktion und zur Heizung leistet in Millionen Privathaushalten bereits einen beachtlichen Beitrag zur CO₂ Vermeidung, der aber sicher noch massiv ausbaufähig ist. Ob Öl oder Gas durch teure Hochtechnologie z.B. im Mobilsektor eingespart wird oder (meist viel preiswerter) durch simple Solarkollektoren ist im Ergebnis aus einer Gesamtsicht gleichwertig. Solarwärme könnte nach verschiedenen Schätzungen in Deutschland bis zu 30% und mehr des Wärmebedarfes decken.

Die thermosolare Nutzung zur Stromerzeugung erfolgt in einem Dampfkraftwerk, in dem der Dampf durch Sonnenwärme erzeugt wird.

Thermosolare Kraftwerke können aber nur im Sonnengürtel der Erde mit gutem Wirkungsgrad arbeiten ($\eta \approx 32\%$ gegenüber $\eta \approx 15\%$ bei der PV) da sie nur die direkte Sonnenstrahlung nützen können die dort fast identisch mit der Globalstrahlung ist. In Mitteleuropa beträgt die direkte Sonnenstrahlung im Durchschnitt aber nur ca. 50% der Globalstrahlung. (Rest = diffuse Strahlung) Thermosolare Kraftwerke erfordern neben einer großen Zahl von Parabolspiegeln oder anderen optischen Systemen, die der Sonne nachgeführt werden müssen, noch ein komplettes Dampfkraftwerk mit Kesseln, Turbinen, Generatoren usw. und dazu das notwendige Fachpersonal. Sie sind daher nur als Großanlagen wirtschaftlich.

Ein Vorteil der thermosolaren Stromerzeugung gegenüber der PV ist u.a. die Möglichkeit Solarwärme durch Salzspeicher über einen gewissen Zeitraum zu speichern wodurch die Stromerzeugung auch über Nacht möglich ist, bzw. besser den täglichen Bedarfsschwankungen angepasst werden kann. Diese Möglichkeit kann durch eine zusätzliche Verbrennungseinrichtung erweitert werden die bei unzureichender Sonneneinstrahlung vorübergehend aktiviert wird.

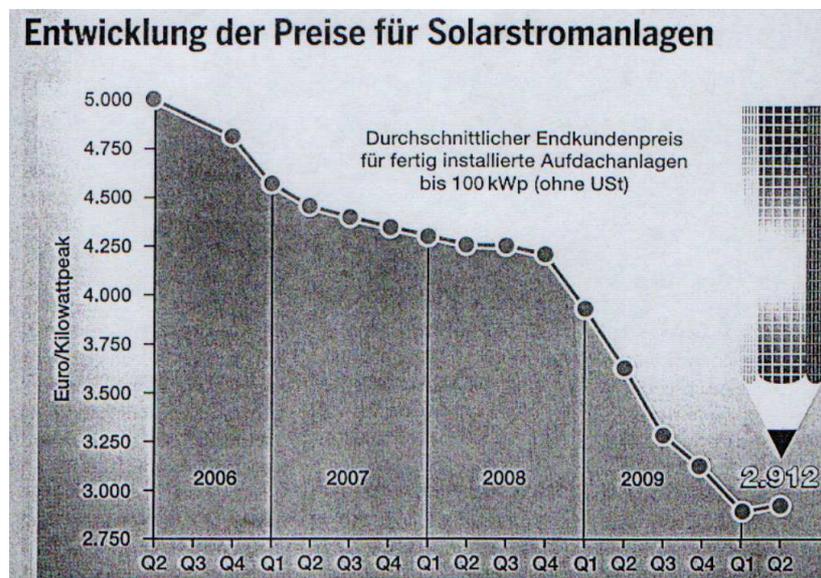
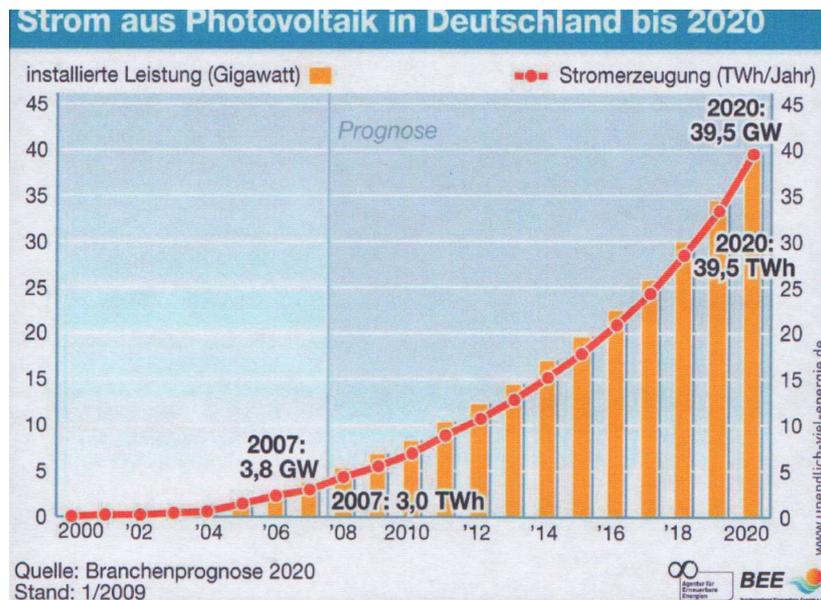
In PV Anlagen erfolgt die Stromproduktion vergleichsweise auf extrem einfache Weise. Plakativ gesagt: PV besteht aus Glasscheiben mit einer dünnen Schicht aus Silizium oder anderen geeigneten Halbleitern (den "PV Modulen" oder PV - Zellen), da scheint oben die Sonne drauf und unten kommt Strom heraus.

Außer eventuellen Einrichtungen zur Sonnennachführung, die aber nicht unbedingt erforderlich sind, gibt es keine bewegten Teile. PV Anlagen können in jeder Größe, dezentral und in jedem Gebiet realisiert werden, an Bedienung und Wartung werden nur minimale Ansprüche gestellt. Sie nutzen das gesamte Spektrum des Sonnenlichtes, also auch den diffusen Anteil.

Und noch eines: der wichtigste Rohstoff in der Photovoltaik ist derzeit Silizium (Si), ein harmloses, ungiftiges und unerschöpflich vorhandenes Element. Si ist mit 27% nach Sauerstoff das zweithäufigste Element in der Erdkruste. Gewonnen wird Si vorwiegend aus Quarz (SiO₂). Größere Umweltprobleme oder Engpässe bei der Versorgung sind daher bei Si nicht zu befürchten.

Damit besitzt die PV potentiell beste Voraussetzungen für eine weltweite Verbreitung und für eine Hauptrolle bei der Energieversorgung der Zukunft. Welches Potential darin steckt zeigt z.B. die Entwicklung im vergleichsweise sonnenarmen Deutschland wo sich im Zeitbereich 2005 – 2010 der PV Anteil an der gesamten Stromerzeugung von 0,2% auf 2% verzehnfacht hat. Im laufenden Jahr 2011 soll der PV – Anteil auf 3% steigen und bis 2020 auf bis zu 10 % .

Die Frage ob bei Großanlagen in sonnenreichen Gebieten die thermosolare Stromerzeugung oder die PV vorteilhafter ist, galt zuletzt als offen. Die PV gewinnt allerdings derzeit aufgrund der sinkenden Kosten an Boden.



Quelle: VDI Nachrichten

Natürlich stehen noch viele Hürden vor dem ehrgeizigen, aber realistischen Ziel die Sonne zum Hauptlieferanten des Energiebedarfes der Menschen zu machen. Diese sind im wesentlichen:

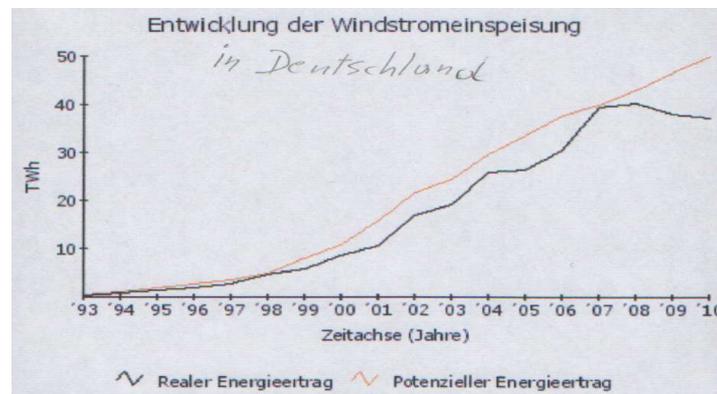
- die hohen Investitionskosten die sich (noch) auf nicht konkurrenzfähige Produktionskosten niederschlagen.
- der zusätzliche Aufwand um den durch PV gewonnenen Strom in allen Energiebereichen nutzen zu können, z.B. auch im Mobilsektor.
- die mit der Tages- und Jahreszeit bzw. dem Wetter stark schwankende Stromerzeugung d.h. die Notwendigkeit einer Stromspeicherung bzw. eines verstärkten Stromnetzes
- die geringe Energiedichte, d.h. der große Flächenbedarf

Soll ein großer Teil des Energiebedarfes der Menschen direkt durch die Sonne gedeckt werden dann werden also große, möglichst sonnenreiche und möglichst dünn besiedelte Flächen benötigt. Diese Flächen gibt es reichlich, allerdings nicht immer vor der Haustüre. Sie liegen aus europäischer Sicht in Südeuropa oder noch günstiger in Nordafrika bzw. im Nahen Osten. Der PV Beitrag von Dächern oder Brachflächen ist auch in Mitteleuropa wertvoll. Aber die Vorstellung, dass damit der Großteil der fossilen Energieträger überflüssig wird, ist leider unrealistisch.

3.2.2 Windenergie

Ein wichtiger Beitrag, vergleichsweise kostengünstig, aber keine universelle Lösung

Deutschland, deckte 2010 mit über 27.000 MW installierter Windkraftleistung und einer Produktion von 37 TWh bereits über 6 % des eigenen Strombedarfes.



Quelle: Bundesverband Windenergie BWE

Das Potential an Windkraft wird in Deutschland auf etwa 20 - 25 % des Strombedarfes geschätzt, insbesondere nach dem Bau der geplanten Offshore - Anlagen (küstennahe im Meer) bzw. nach einer Potenzierung bestehender Anlagen. (Repowering) Weltweit ist das Potential im Durchschnitt ähnlich.

Natürlich gibt es auch spezifische Probleme und Gegenargumente. Vergleichbar wie bei der PV schwankt das Windangebot und damit die Stromproduktion unvorhersehbar zwischen Null und einem oft nicht verwertbaren Höchstmaß.

Andere negative Aspekte sind die optische und akustische Belästigung, die Gefahr für Vögel und die Landschaftsbeeinträchtigung.

Nicht alle Probleme sind vollständig lösbar. So wie bei allen Strukturen der **e.En.** gilt aber für Windkraftanlagen zumindest eines: Im Gegensatz etwa zu Kernkraftwerken stellen sie keine Gefahr dar, arbeiten emissionsfrei und können - sollten sie eines Tages durch eine bessere Technologie überflüssig würden – ohne großem Aufwand restlos und gefahrlos entsorgt werden.

Die fast erreichte kostenmäßige Wettbewerbsfähigkeit z.B. mit fossilen Energieträgern ist neben der Verfügbarkeit im eigenen Land einer der Gründe dafür, dass die Stromproduktion aus Windkraft derzeit die wesentlich teurere aus Solarenergie weit übertrifft.

Die Standorte an denen Windenergie sinnvoll genutzt werden kann sind aber begrenzt und das Potential ist weltweit gesehen um Größenordnungen geringer als das der Solarenergie. Insbesondere ist es auch kaum denkbar dass – etwa wie bei der PV- eine Vielzahl von privaten Kleinanlagen in Summe einen erheblichen Strombeitrag leisten können. Deshalb ist Windenergie als wichtiger Beitrag im zukünftigen Energiemix, aber nicht als generelle Lösung des Energieproblems zu sehen.

Eine Symbiose mit Solarenergie wäre insofern günstig, als ein gewisser Ausgleich im Energieangebot gegeben wäre. Maximum und Minimum würden bei Sonne und Wind nur selten gleichzeitig auftreten.

3.3.3 Biomasse

Ein wichtiger Beitrag zur nachhaltigen Energieversorgung, aber als Treibstoff fragwürdig

Unter Biomasse versteht man eine Masse von lebenden oder abgestorbenen Pflanzen oder Tieren, bzw. ihre Stoffwechselprodukte, wobei die chemischen und physikalischen Eigenschaften aus dem Wachstumsprozess weitgehend unverändert erhalten sind.

Im Gegensatz dazu haben fossile Energieträger, die vor Jahrmillionen ebenfalls Biomasse waren, durch natürliche Prozesse eine starke Veränderung ihrer ursprünglichen Eigenschaften erfahren.

Grundlage für das Entstehen von Biomasse ist überwiegend die Photosynthese d.h. die Fähigkeit der Pflanzen mit Hilfe von Sonnenlicht und CO₂ aus der Luft organische Masse aufzubauen.

Dabei wird gleichzeitig Sauerstoff (O₂) freigesetzt. Dieser seit Urzeiten ablaufende Prozess war die Voraussetzung für das Entstehen einer sauerstoffreichen Atmosphäre und damit der heutigen Lebensformen auf der Erde. In geringem Maße gibt es noch andere Prozesse die zum Aufbau von Biomasse führen.

Die weltweit nachwachsende Menge an Biomasse beträgt etwa 150 – 173 Milliarden t /Jahr (zum Vergleich: derzeitige Ölförderung weltweit 2009: 3,8 Milliarden t). (Quelle: WIKIPEDIA)

Der Energieinhalt der gesamten nachwachsenden Biomasse beträgt etwa 2000 – 2900 EJ. Davon könnte man theoretisch aus technischen und ökonomischen Gründen etwa 800 EJ nutzen. (zum Vergleich: gesamter Energieverbrauch weltweit derzeit ca. 463 EJ) (Quelle: WIKIPEDIA)

Die energetische Nutzung in Form von Brennholz gehört zu den ältesten “technischen“ Errungenschaften des Menschen (Nutzung des Feuers: wahrscheinlich seit mehr als 1 Mio. Jahren, sicher nachgewiesen seit 500.000 Jahren) und hat auch heute noch mit ca. 10% des weltweiten Energieverbrauches eine erhebliche Bedeutung.

Biomasse kann als erneuerbar und – je nach Voraussetzungen - überwiegend als CO₂ neutral bewertet werden, da bei der Verbrennung nur das CO₂ freigesetzt wird, das während dem Wachstum der Atmosphäre entnommen wurde. (CO₂ neutral).

Ein besonderer Vorteil im Vergleich zu anderen erneuerbaren Energien wie Sonne und Wind ist der, dass Biomasse direkt gespeichert und dadurch meist bedarfsgerecht genutzt werden kann.

Durch Umwandlung in Biogas oder in flüssigen Kraftstoff kann der Anwendungsbereich von Biomasse in den Bereichen Heizung, Mobilität, Stromerzeugung usw. stark erweitert werden.

Nicht zuletzt deshalb ist die energetische Nutzung von Biomasse derzeit im Steigen begriffen bzw. kann diese im gegenwärtigen und im zukünftigen Energiemix eine wichtige Rolle übernehmen.

Die ökologische und wirtschaftliche Bewertung der Biomasse als Energieträger ist aber entscheidend von den Umständen und Methoden abhängig unter denen sie gewonnen und genutzt wird. Dabei kann man grob etwa folgende Merkmale unterscheiden:

nach der Herkunft u.a.:

1. Verwerten von Abfällen wie Restholz, Industrieabfälle, Bioabfälle, Gülle usw.
2. anspruchslose Energiepflanzen auf Brachflächen z.B. Pappeln, Miscanthus oder Jatrophanuss
3. nachhaltige Entnahme aus Wäldern
4. Raps, Mais, Getreide usw. von landwirtschaftlichen Flächen zur Energiegewinnung
5. Rodung von Urwäldern zwecks Nutzung des Bodens durch Energiepflanzen (Ölpalmen)
6. Nicht nachhaltiges Abholzen von Bäumen und Sträuchern zur Brennholzgewinnung.

nach Art der Verarbeitung bzw. Verwertung u.a.:

1. direkte Verbrennung z.B. in Form von Stückholz oder Hackschnitzel
2. Umwandlung in flüssige Kraftstoffe durch Auspressen (z.B. Rapsöl), Vergären (Bioethanol) oder Pyrolyse (Erhitzen unter Luftabschluss z.B. im BTL Verfahren)
3. Verwandlung in Biogas (Hauptbestandteil Methan) durch Vergärung unter Luftabschluss

Die Umwandlungen kommen in einer Vielzahl von Varianten und Kombinationen zum Einsatz. Der Energieinhalt von Biomasse kann durch die unterschiedlichen Verarbeitungsmethoden aber nicht erhöht werden, im Gegenteil, jede Art der Verarbeitung verringert diesen. Daher liefert die direkte Verbrennung – wo diese möglich ist - immer den maximalen Energieertrag.

Ein anderer Aspekt ist der, dass Energieträger aus Biomasse in flüssiger oder gasförmiger Form einfacher und vielseitiger eingesetzt werden können als solche in fester Form. Deshalb kann der Aufwand und der unvermeidliche Energieverlust bei der Verflüssigung oder Vergasung von Biomasse durchaus gerechtfertigt sein.

Bei Grünabfällen oder Gülle ist eine energetische Verwertung überhaupt erst durch solche Zwischenschritte möglich.

Besonders die Umwandlung in Biogas verbindet einen relativ guten Wirkungsgrad mit flexiblen Einsatz – und Speichermöglichkeiten. Der Beitrag durch Biogas an der Stromerzeugung war z.B. in Deutschland 2009 mit ca. 5,2% mehr als doppelt so hoch wie der aus der PV .

Fragwürdig aus einer Gesamtsicht ist es aber, wenn mit großem Aufwand Biotreibstoff gewonnen wird, der weniger Erdölderivate ersetzen kann als bei schlichter Verbrennung der dazu verwendeten Biomasse an Heizöl eingespart werden könnte.

Die gleiche Fläche für PV genutzt würde bis zu **50 x mehr Energie** bringen als z.B. Raps. Und dies ohne Ackerarbeit, ohne Dünger ohne Pestiziden und ohne Wasserverbrauch.

Pflanzen haben ihre Eigenschaften im Laufe der Evolution nun einmal für ihr Dasein auf der Erde entwickelt und nicht für den Antrieb von Autos.

In Deutschland werden derzeit auf ca. 1,5 Mio. ha (ca. 4,2 % der Gesamtfläche) Energiepflanzen zur Treibstoffgewinnung angebaut. Das Ergebnis, bei einem erheblichen Aufwand an Energie und Rohstoffen, sind ca. 2,1 Mio. t Biotreibstoff, die etwa 6 % des deutschen Treibstoffbedarfes decken.

Die Energiegewinnung auf Ackerböden steht auch in Konkurrenz zur Produktion von Nahrungsmitteln d.h. diese werden verteuert und/oder in andere Anbaugelände verlagert, die oft genug durch Umweltzerstörung entstehen. Nicht zuletzt angesichts von Hungersnöten in der Welt, werden hier gravierende Fragen aufgeworfen.

Vor allem geht es aber darum, die ökologischen Katastrophen durch riesige Energiepflanzen - Monokulturen zu vermeiden, die derzeit weltweit auf gerodeten oder abgebrannten Urwaldflächen angelegt werden.

Die wirksamste Gegenmaßnahme bestünde darin, dass umweltfreundliche Energie aus anderen erneuerbaren Quellen schlicht kostengünstiger ist.

Sinnvoller und verantwortbarer als Monokulturen mit Energiepflanzen erscheint daher in vielen Fällen die Nutzung von Boden durch technische Einrichtungen die kostengünstig z.B. Solarstrom liefern. Dabei kann man meist auf Ödland ausweichen wo diese Einrichtungen keine nennenswerten ökologischen Probleme zur Folge haben.

Es gibt aber auch Erfolg versprechende technische Konzepte mit denen zur Verfügung stehender Boden sowohl landwirtschaftlich als auch energetisch genutzt werden kann, ohne damit die Natur zu überfordern. Beispielsweise wurden in Form von Pilotanlagen erfolgreich PV Module auf Seiltragwerken montiert die im Prinzip an Hopfenanlagen erinnern und unter denen zusätzlich eine (fast) normale landwirtschaftliche Nutzung der Fläche möglich ist (siehe Titelseite)

Unter Bezug auf die oben angeführte Unterscheidung nach der Herkunft ist evident, dass die unter 5. und 6. genannten Fälle eindeutig negativ zu bewerten sind. Beim Fall 4. (Energiepflanzen auf Ackerboden) ist die Bilanz somit zumindest fragwürdig.

Alle Aspekte der energetischen Nutzung von Biomasse stehen also in einem komplizierten Zusammenhang der von Fall zu Fall ganzheitlich zu prüfen ist um zu vermeiden, dass der Einsatz ökologisch und/oder wirtschaftlich eher kontraproduktiv ist.

Pflanzen haben aber auch jenseits der direkten energetischen Verwertung eine wichtige ökologische Funktion weil sie beim Wachsen CO₂ aus der Atmosphäre aufnehmen. Seit Urzeiten gibt es ein natürliches Gleichgewicht zwischen CO₂ Aufnahme durch die Pflanzen und CO₂ Abgabe durch das Verrotten der Vorgängergeneration. Dadurch blieb der CO₂ Gehalt der Luft über Millionen Jahre weitgehend konstant. Dem im natürlichen Kreislauf befindlichen CO₂ fügt der Mensch durch das Verbrennen von fossiler Energie seit Beginn des Industriezeitalters aber laufend zusätzliche Mengen hinzu. Selbst wenn dieser jährliche Anteil gering erscheint führt die Kumulierung dieser Zusatzmengen zu einem raschen und massiven Anstieg des CO₂ Gehaltes der Atmosphäre.

Dieser Anstieg wird im Übrigen durch Messungen bestätigt und ist laut überwiegender Expertenmeinung die Hauptursache für den inzwischen zweifelsfrei feststehenden Klimawandel.

Neu gepflanzte Biomasse wirkt diesem Effekt entgegen da sie CO₂ aus der Atmosphäre entnimmt und speichert. Wird die Biomasse energetisch nicht genutzt oder im Falle der Nutzung laufend durch nachwachsende, gleichwertige Pflanzen ersetzt (der natürliche Ablauf z.B. in Wäldern) dann bleibt in Summe das im Pflanzenbestand absorbierte CO₂ gebunden. Nachhaltig genutzte Biomasse stellt somit eine unbegrenzt sprudelnde Solarenergiequelle dar. Unter dem Aspekt Treibhauseffekt besteht der Gewinn darin, dass damit CO₂ produzierende Energieträger, also fossile, eingespart werden.

Beim Abbrennen von Urwäldern wird dieser Vorgang aber umgekehrt. Dabei wird seit Jahrtausenden gespeichertes CO₂ freigesetzt. Etwa 17% der vom Menschen verursachten CO₂ Emissionen stammen aus derartigen Brandrodungen. (→ Seite 9).

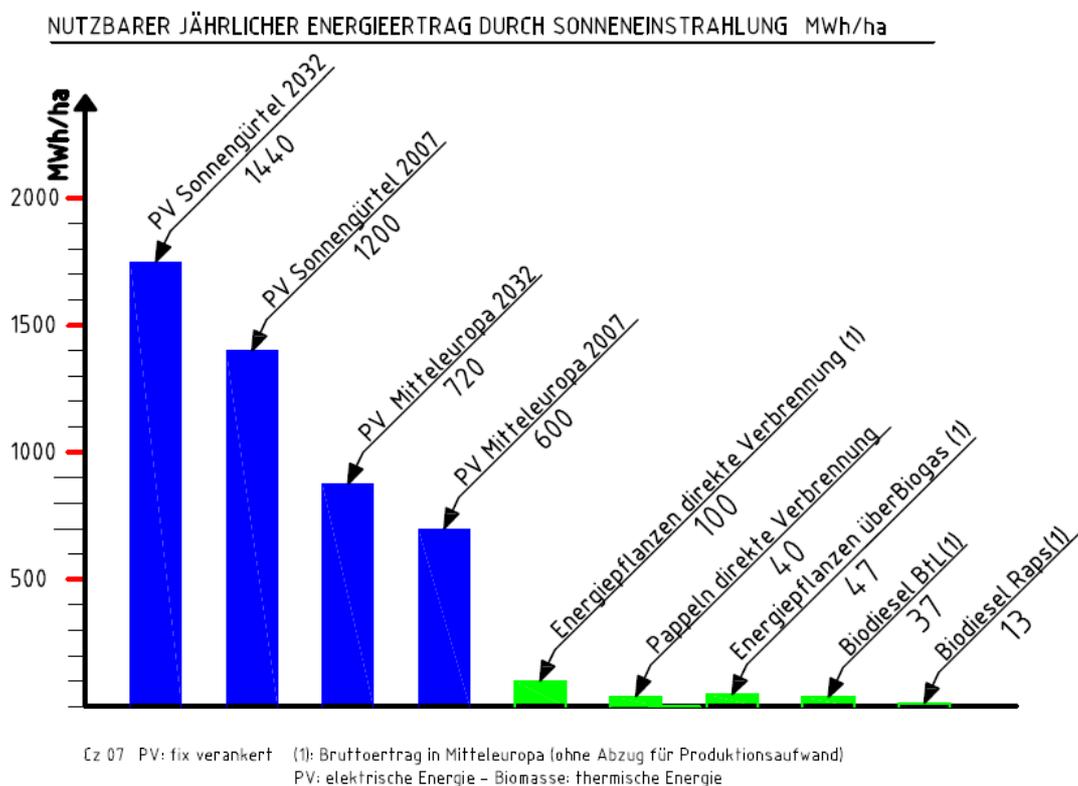
Dazu kommen die katastrophalen Folgen für Flora und Fauna, für den Wasserhaushalt, den Bodenschutz usw.

Eine kleine Wiedergutmachung für bereits verursachte Schäden und gleichzeitig eine Möglichkeit um die CO₂ Emissionen nachhaltig zu reduzieren sind also Aufforstungen.

Z.B. gibt es in Südeuropa große baumlose Gebiete die in der Antike oft wildreiche Waldgebiete waren, aber im Laufe der Jahrhunderte vom Menschen und seinen Haustieren auf den heutigen Zustand reduziert wurden. Viele kleine, grüne Inseln aus angepflanzten Bäumen zeigen aber, dass es prinzipiell möglich ist diesen ehemaligen Wald wieder herzustellen.

Nur müsste die Wiederaufforstung nicht sporadisch erfolgen, wie es derzeit der Fall ist, sondern im großen Stil.

Weltweite Aufforstungsprogramme gehören zu den sinnvollsten Maßnahmen im Bereich Energie und CO₂ Problematik, aber auch als Wirtschaftsförderungsprogramm und Naturschutz. In kaum einem anderen Bereich können mit vergleichsweise geringen Investitionen so viele sinnvolle Arbeitsplätze geschaffen werden, insbesondere in Entwicklungsländern. Dazu wäre die Politik der CO₂ – Vermeidung durch den Emissionshandel hier optimal umsetzbar.



Quelle: Verfasser

3.3.4 Geothermie

Theoretisch ideal, großes Potential, aber derzeit nur minimal genutzt

Erdwärme bzw. Kühle wäre im Prinzip eine ideale Energiequelle zum Heizen, zum Kühlen und zur Stromerzeugung. Die Energie ist kostenlos, aus menschlicher Sicht unerschöpflich, weitgehend frei von Emissionen, ständig verfügbar und das meist auch noch dort, wo sie gebraucht wird.

Die Temperatur beträgt in 10 – 15 m Tiefe etwa 8° -12° und steigt dann um etwa 3° pro 100 m. (geothermische Tiefenstufe). Es gibt aber weltweit zahlreiche Zonen mit Wärmeanomalien bei denen bereits in geringer Tiefe Temperaturen von mehreren 100° anzutreffen sind. Und es gibt viele Möglichkeiten um Erdwärme zu nutzen, die weltweit – wenn auch in geringem Umfang – bereits zur Anwendung kommen:

- direkte Nutzung von Thermalwasser zum Baden und Heizen aus natürlichen oder künstlich erbohrten Quellen
- Erdsonden (oberflächennah) in Kombination mit Wärmepumpen
- Stromerzeugung, meist zusätzliche Nutzung der anfallenden Wärme zum Heizen
- direkte Kühlung von Gebäuden wobei in diesem Fall die relativ niedrige Temperatur oberflächennaher Schichten genützt wird.

Das große Problem bei der Nutzung der Erdwärme – oder Kühle sind die hohen Kosten für Tiefbohrungen für große Leistungen und das Risiko bei den technischen bzw. kostenmäßigen Vorhersagen. Auch kleinere lokale Erdbeben nach Tiefbohrungen hat es schon gegeben. Mehrere begonnene, aber wieder eingestellte Projekte zur Gewinnung von Strom aus Erdwärme sprechen diesbezüglich eine deutliche Sprache.

Die Anteile der Geothermie am Welt – Energiebedarf sei es bei der Wärme wie auch beim Strom liegen derzeit erst im Promille – Bereich. Etwa die Hälfte der direkten Wärmenutzung erfolgt über Wärmepumpen d.h. die dem Erdboden entzogene Wärme wird durch Wärmepumpen auf ein nutzbares Niveau gehoben.

Trotz dem aktuell bescheidenen energetischen Beitrag und den technisch - wirtschaftlichen Problemen besteht derzeit – nicht zuletzt auf Grund der gestiegenen Kosten für fossile Energie - in diesem Bereich Aufbruchstimmung.

Es gibt Prognosen, die davon sprechen, dass in 20 - 30 Jahren z.B. bis zu 30% des deutschen Strombedarfes durch geothermische Kraftwerke gedeckt werden könnten. Dazu würde noch eine Menge Wärmeenergie anfallen. Das wäre natürlich wünschenswert, nicht zuletzt weil die Geothermie auf Grund ihrer ständigen Verfügbarkeit die perfekte Ergänzung zu den fluktuierenden erneuerbaren Energieträgern sein kann.

Wie weit die Geothermie tatsächlich einen maßgeblichen Beitrag zum Energiemix der Zukunft leisten wird, hängt wesentlich von den technischen Entwicklungen in diesem Bereich ab.

3.3 KERNKRAFT

Gefährlich, keine wirkliche Perspektive

Die Kernkraft wird in ihrer Bedeutung als Energiequelle und Wirtschaftsfaktor häufig überschätzt. Ihr Beitrag am weltweiten Aufkommen an Primärenergie liegt derzeit in der Größenordnung von 6%. bzw. an der weltweiten Stromerzeugung bei 14 %. Nur für wenige Länder mit starkem Anteil an Atomstrom wäre die Umstellung auf andere Energiequellen vorübergehend eine erhebliche Belastung. Da auch die Uranvorräte, ähnlich wie die fossilen Energieträger – weltweit nur eine begrenzte Reichweite haben (ca. 60 Jahre) ist auch die Kernkraft nur eine Energiequelle auf Zeit.

Dem bescheidenen Ertrag durch Atomkraftwerke (AKW) der in wenigen Jahren z.B. durch Ökostrom ersetzt werden könnte, steht ein großes und - wie viele meinen – inakzeptables Gefahrenpotential gegenüber. Abgesehen von dem bei keinem AKW mit letzter Sicherheit auszuschließenden großen

Unfall (GAU) mit den apokalyptischen Folgen wie sie in Tschernobyl und Fukushima sichtbar wurden, gibt es noch weitere gravierende Risiken. Die weltweite Verbreitung von Atomwaffen im Gefolge der AKW, die ungelöste Lagerung von Atommüll und die radioaktive Verseuchung großer Land - und Wasserflächen sind leider bereits Realität.

Aber auch der direkte wirtschaftliche Aspekt ist fragwürdig. Angesichts der durch Sicherheitsauflagen massiv gestiegenen Baukosten einerseits und den sinkenden Kosten für **e.En.** andererseits müssen sich derzeit viele Länder mit geplanten Atomprojekten die Frage stellen ob Investitionen in die **e.En.** nicht sinnvoller wären.

Es gibt keine realistische Chance, dass diese Technologie jemals einen maßgeblichen Beitrag an der globalen Energieversorgung erreichen könnte. Es ist im Gegenteil davon auszugehen, dass die Abschaltungen (z.T. wegen erreichter technischer Lebensdauer) überwiegen. Die Aufrechterhaltung der Option Kernkraft ist daher eher eine Hürde für wirkliche Lösungsansätze.

Die von einzelnen Staaten vertretene Auffassung, dass die Entscheidungen in Sachen Kernenergie allein im Rahmen der nationalen Souveränität getroffen werden können, ist im Übrigen angesichts der grenzüberschreitenden Risiken nicht logisch und für Anrainer kaum akzeptabel.

Ein Gedankenexperiment:

Der durchschnittliche Wirkungsgrad der Kohlekraftwerke beträgt weltweit laut verschiedenen Quellen ca. 31%. Der Wirkungsgrad eines modernen Kohlekraftwerkes beträgt heute ca. 45% . (mittelfristig sind bis ca. 55 % zu erwarten).

Würde man alle Kohlekraftwerke der Welt auf den heutigen Stand der Technik bringen würde sich – bei gleich bleibendem Kohleverbrauch - die Stromproduktion um den Faktor $45/31 = 1,45$ erhöhen.

Der Mehrertrag an Stromenergie wäre $8736 (1,45 - 1) = 3931 \text{ TWh}$ (siehe Schaubild Seite 7)

Damit könnte allein die Modernisierung der bestehenden Kohlekraftwerke, ohne Mehrverbrauch an Kohle, den gesamten weltweit durch Kernkraft erzeugten Kernkraftanteil (**2940 TWh**) mehr als ersetzen.

4. "NEGAWATT" - DIE UNTERSCHÄTZE ENERGIEQUELLE

“Negawatt“ steht in Anlehnung an den Begriff “Megawatt“ scherzhaft für einen Energiebedarf der durch bessere Effizienz und sparsamen Umgang mit Energie erst gar nicht entsteht.

Das Sparpotential bei Energie wurde lange Jahre als kaum nennenswert abgetan und zudem wurde Sparen in erster Linie mit dem Verzicht auf einen angemessenen Lebensstandard gleichgesetzt.

Dementsprechend hatte dieser Aspekt in den Energiediskussionen einen schweren Stand. Noch vor wenigen Jahren wurde der lineare Zusammenhang zwischen Wirtschaftswachstum und Energieverbrauch geradezu als Dogma verkündet. Nicht zuletzt die zunehmenden Energiekosten – und Krisen sorgten aber für eine kritische Neubewertung der Fakten. Heute ist unbestritten, dass es ein gewaltiges Einsparpotential gibt, das insbesondere durch technische und organisatorische Maßnahmen genutzt werden kann und soll.

Zusammen mit kleinen Anpassungen in unserem Lebensstil ist die Verbesserung der Effizienz daher ein entscheidender Faktor beim Streben nach einer dauerhaften Lösung der Energieprobleme.

4.1 TECHNISCH – ORGANISATORISCHE EINSPARMÖGLICHKEITEN

In allen Bereichen werden inzwischen immer neue technische und/oder organisatorische Möglichkeiten zur Energieeinsparung entdeckt oder altbekannte Ideen und Vorschläge ausgegraben.

Ein Teilerfolg ist bereits sichtbar: der prognostizierte, parallel zum Wirtschaftswachstum steigende Energieverbrauch ist in den Industrienationen in den letzten Jahren weitgehend ausgeblieben.

Trotz immer mehr Energieverbrauchern (mehr Fahrzeuge, unzählige neue Stromverbraucher usw.) ist der Gesamtverbrauch z.B. in Deutschland in den letzten Jahren leicht gesunken und wird nicht zuletzt auch dank einem veränderten Bewusstsein weiter sinken.

Unter den Maßnahmen zur Reduzierung des Energieverbrauches gibt es einige Schwergewichte die gefördert werden sollten um das große Einsparpotential voll nutzen zu können. Dazu gehören die Wärmeisolierung von Gebäuden und die Kraft – Wärmekoppelung (KWK) bei der Stromerzeugung. Im Fall KWK wird die bei der Stromerzeugung anfallende Abwärme im Gegensatz zum “normalen“ kalorischen Kraftwerke für Heizzwecke genutzt d.h. eine entsprechende Menge an Heizöl – oder Gas wird an anderer Stelle eingespart.

Unzählige kleinere und größere Maßnahmen um unnötig Energie fressende Geräte und Anlagen, Bauwerke und Arbeitsmethoden durch effizientere zu ersetzen, brauchen aber weder ins Detail gehende gesetzliche Vorgaben noch Förderungen. Entscheidend ist vielmehr ein nicht zu niedriger Energiepreis. Ob Investitionen in die Energieeffizienz für Unternehmer oder für private Verbraucher wirtschaftlich interessant sind hängt in erster Linie von den Energiepreisen ab. Die in Zukunft sicher nur noch steigenden Energiepreise werden die Innovationen zur Steigerung der Energieeffizienz daher weiter fördern.

Zu billige Energie hingegen bremst den Anreiz für Modernisierungen. Sie führt nur zu gedankenloser Verschwendung bzw. zu schlechteren Produkten wie z.B. die ehemalige Sowjetunion gezeigt hat. Gerade die energiearmen Industrieländer die notgedrungen höhere Energiepreise haben, nehmen stattdessen im weltweiten Vergleich technologisch und meist auch wirtschaftlich Spitzenpositionen ein. Der entscheidende Aspekt aus wirtschaftlicher Sicht ist nicht der Energiepreis an sich, sondern das Vermeiden von verzerrenden Wettbewerbsbedingungen durch internationale Abkommen.

4.2 LEBENSSTIL UND RESSOURCEN

Noch vor 2 oder 3 Generationen benötigten die Menschen nur einen kleinen Bruchteil der heute von uns beanspruchten Ressourcen. Energie – und Rohstoffverbrauch und BIP (Bruttoinlandsprodukt = Gesamtwert aller Waren und Dienstleistungen die innerhalb eines Jahres geleistet werden) haben sich lange Zeit ungefähr im Gleichschritt nach oben bewegt.

Das BIP ist in Deutschland zwischen 1950 und 2000 ca. auf das siebenfache gestiegen. (Quelle : Wikipedia) Vereinfacht gesagt: der allgemeine Reichtum hat sich versiebenfacht. Geschäftssinn und Wettbewerb, wissenschaftliche und technische Errungenschaften bis hin zum gezielten “Wecken von Bedürfnissen“ und zu Experimenten mit den Grundlagen des Lebens waren und sind Triebfedern dieser Entwicklung.

Zufriedener sind die Menschen dadurch nicht geworden. Im Gegenteil sagen die Älteren. Berge von immer neuen Produkten, Shopping in Übersee über das Wochenende und unzählige Dinge die noch vor wenigen Jahren als science fiction galten sind offensichtlich nicht der Königsweg zum Glück. Wohl aber sind sie die Hauptursache für zahlreiche Probleme “neuer Art“.

Hat Goethe vor 200 Jahren diese Entwicklung vorausgeahnt als er seinen verzweifelten Zauberlehrling ausrufen ließ: “die Geister die ich rief, die werd ich nun nicht los“?

Das Rad der Geschichte zurückzudrehen ist nicht möglich wie alle Erfahrung zeigt und dies wäre generell auch nicht wünschenswert. Wohl aber wäre die simple Gleichung: “Wachstum = Wohlstand“ kritischer zu beurteilen als dies heute geschieht.

Ob wirtschaftliches Strohfeuer oder langfristig realer Gewinn, ob sich Einzelne übermäßig bereichern oder die Allgemeinheit profitiert, ob Arbeitskraft und Ressourcen in überflüssige Dinge investiert werden oder in die Lösung von Problemen von vitalem Interesse, das alles entscheidet mit.

Der materielle Wohlstand einer Gesellschaft kann nur die Summe dessen sein, was gemeinsam produziert wird. Die Frage ist also nicht nur das “wie viel“, sondern mindestens ebenso das “was“. Natürlich muss es ein vorrangiges Ziel sein möglichst viele Arbeitsplätze zu sichern und dies nicht nur aus ökonomischen Gründen. Aber der Grundsatz “das Nützliche fördern, das Unnütze oder gar Schädliche vermeiden“ darf deshalb nicht ignoriert werden.

Man muss davon ausgehen, dass der gewaltige Zuwachs beim BIP überwiegend nicht nach diesen Grundsätzen genützt wurde. Die sozialen Probleme sind kaum weniger geworden und der Konsumrausch führt auch zu negativen Folgen wie Leistungsdruck, Hektik und Umweltbelastungen. Wenn z.B. in der Wüste eine 400 m lange Skihalle gebaut wird für Leute, die das dringende Bedürfnis haben bei 45° Außentemperatur Wintersport zu betreiben, kostet das viele Millionen und den Stromverbrauch einer mittleren Stadt. Eine vergleichbare Investition z.B. in eine PV Anlage an gleicher Stelle würde nicht weniger Arbeitsplätze schaffen, aber diese Strommengen umweltfreundlich erzeugen statt sie zu verbrauchen. Tatsache ist: die Skihalle gibt es, die Solaranlage nicht.

Die Politik hat die Möglichkeit die Dinge bis zu einem gewissen Grad in diesem Sinn zu steuern, nicht zuletzt über das Instrument Lenkungssteuern. Aber auch jeder einzelne Bürger kann dazu durch die Wahl seines Lebensstils einen Beitrag leisten. Zwar wäre es unrealistisch die Lösung aller großen Probleme in der Umerziehung der Menschen zu suchen, wie manche Idealisten glauben, oder gar in der Rückkehr zum Lebensstil vergangener Zeiten.

Aber es wäre ein wesentlicher Teil der Lösung wenn viele Menschen auch in ihrem privaten Bereich einen bewussteren Umgang mit Konsum, Ressourcen und Umwelt pflegen. U.a. auch indem sie bereit sind, nachhaltige und umweltfreundliche Technologien höher zu schätzen als kurzfristige Kostenvorteile.

5. DIE ‘ENERGIEWENDE‘

Die ‘Energiewende‘ bezieht sich auf die zunehmende Tendenz fossile - und Atomenergie durch erneuerbare Energie zu ersetzen, dazu in allen Bereichen den Energiebedarf durch technische und organisatorische Sparmaßnahmen sowie Änderungen im menschlichen Verhalten zu senken. Über die praktische Durchführbarkeit, die wirtschaftlichen und viele andere Aspekte einer so definierten ‘Energiewende‘ gibt es viele unterschiedliche Auffassungen die derzeit weltweit diskutiert werden.

5.1 NOTWENDIG ODER KOSTSPIELIGE IDEOLOGIE?

Jenseits von allen mehr oder weniger begründeten für und wider im Detail steht zunächst fest:

ES GIBT KEINE ALTERNATIVE ZUR ENERGIEWENDE

Niemand kann konkrete Möglichkeiten nennen wie die Grundprobleme der heutigen Energieversorgung, also die absehbare Erschöpfung der fossilen Vorräte, Treibhauseffekt, Umweltzerstörung, unsichere Versorgung und steigende Preise anderes als mit einer zielstrebigem Energiewende zu lösen wären. Bis zu einem gewissen Grad offen sind aus heutiger Sicht lediglich die Lösungen im Detail und die zeitlichen Abläufe.

Tatsächlich ist die Energiewende bereits angelaufen. Die wichtigsten Technologien sind erfolgreich im Einsatz und befinden sich weiter in einem rasanten Entwicklungsprozess. Sonne, Wind, Biomasse und Geothermie haben ohne Zweifel das Potential um auf unbegrenzte Zeit den weltweiten Energiebedarf der Menschen umweltschonend zu decken und stehen überall zur Verfügung.

Ebenso steht fest, dass auch die zweite Komponente der Energiewende, die Reduzierung des Energiebedarfes durch technische und organisatorische Maßnahmen, ergänzt durch Anpassungen in unserem Lebensstil realisierbar und von großer Bedeutung ist.

Die Umsetzung der Energiewende ohne unnötigen Verlusten an Zeit und Mitteln ist nur denkbar, durch sorgfältige Planungen und eine möglichst internationale Koordinierung.

Leider steht außer Zweifel, dass beide Voraussetzungen nur schwer zu erreichen sind.

Auch verlaufen die wissenschaftlichen und technischen Entwicklungen im Bereich Energie derzeit so rasant, dass nicht alles im Detail vorhersehbar ist. Dazu mangelt es nicht an Zweiflern und Gegnern aus allen Bereichen.

Alle vom Menschen genutzten Energiearten, die Art ihrer Anwendung und die Möglichkeiten der Einsparung sind vielfach miteinander verknüpft. Eine sinnvolle Energiediskussion kann daher nicht auf einzelne Teilbereiche reduziert werden. Dieser komplizierten Ausgangssituation überlagern sich noch vielfältige Partikularinteressen aus Wirtschaft und Politik.

Damit sind kontroverse und zeitraubende Diskussionen auch innerhalb der einzelnen Länder vorprogrammiert. Noch schwieriger ist die notwendige Koordinierung auf internationaler Ebene wie alle bisherigen Erfahrungen gezeigt haben. Diese Schwierigkeiten zwingen sicher zu Kompromissen und Provisorien. Angesichts dessen, was auf dem Spiel steht, dürfen die Probleme aber trotz der schwierigen Rahmenbedingungen nicht auf die lange Bank geschoben werden.

Am einfachsten sind Veränderungen natürlich dort, wo Umweltschutz und Wirtschaftlichkeit evident sind und kurzfristig erreicht werden können. Die so genannten "CO₂ – Vermeidungskosten" sind in diesem Zusammenhang ein wichtiges Kriterium.

Nicht alles darf aber der Logik "nur eine Verbilligung ist eine Verbesserung" untergeordnet werden. Die Bevorzugung der im Augenblick kostenmäßig günstigsten Lösung kann die aus langfristiger Sicht bessere Lösung verzögern oder gar verhindern. Und natürlich gibt es nicht nur den Aspekt direkte Kosten sondern es gibt viele andere die jeweils abzuwägen sind.

Alle diese Aspekte spielen eine Rolle wenn zunächst die Entscheidungen fallen müssen mit welchen "Brückentechnologien" man Schritt für Schritt die Umsetzung der Energiewende erreichen will. Diese Technologien und Strategien müssen vor allem auch so flexibel sein, dass Entwicklungen, die erst auf dem langen Weg zur abgeschlossenen Energiewende marktreif werden, möglichst keine neuen Weichenstellungen erfordern.

5.2 DIE KOSTENFRAGE

Kostenrechnungen im Energiebereich beruhen zu einem wesentlichen Teil auf relativ willkürlichen Annahmen. Insbesondere bei zukünftigen Projekten sind unterschiedliche Interpretationen von Begriffen und anderen maßgeblichen Grundlagen der Rechnung daher fast unvermeidbar und innerhalb gewisser Grenzen auch verständlich. Die jeweilige Interessenlage dürfte ebenfalls nicht immer ohne Einfluss auf das Ergebnis bleiben.

Im Fokus stehen derzeit insbesondere die Kosten für elektrischen Strom auf die sich – stellvertretend auch für andere Energiebereiche - die nachfolgenden Zusammenhänge beziehen.

Wichtige Parameter zur Berechnung der wirklichen zukünftigen Erzeugungskosten für Strom sind:

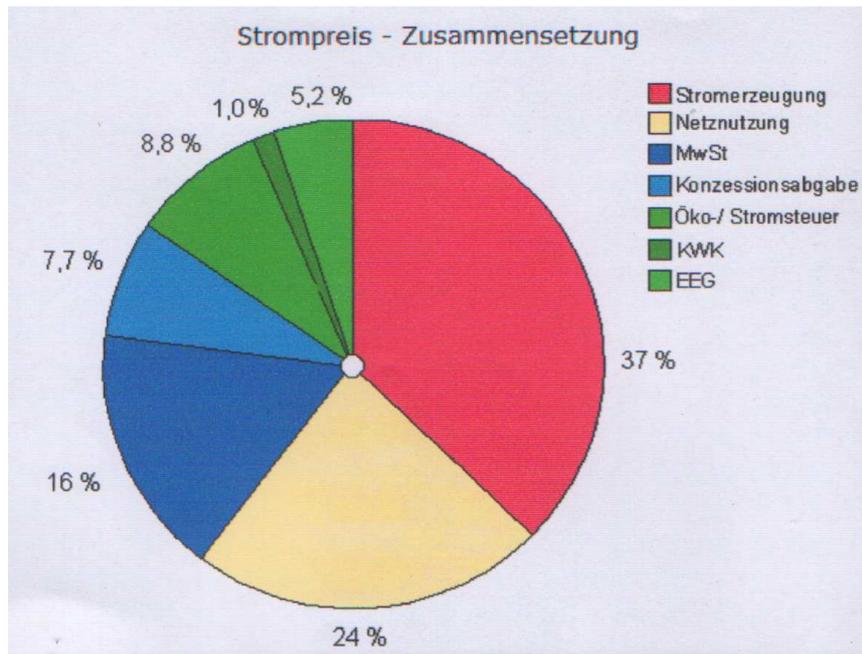
- Dauer des betrachteten Zeitraumes
- bestehende Kraftwerke oder neu zu errichtende
- finanztechnische Voraussetzungen (Kapitalkosten, Amortisationsdauer, Betriebskosten gesetzliche Rahmenbedingungen, Subventionen, usw.)
- Tendenz bei den Kosten für die jeweiligen Energieträger
- Kosten für Emissionsrechte
- technische Daten, insbesondere der Wirkungsgrad bei der Verstromung
- technische Nutzungsdauer
- geopolitische Rahmenbedingungen
- Welche Kosten werden von wem getragen? z.B. für Grundlagenforschung und Entsorgung.
- Wie weit sind die Kosten für gegenwärtige und zukünftige Umweltschäden berücksichtigt?

Angesichts der komplexen Ausgangssituation sind als Ergebnis keine einfachen und unumstößlichen Zahlen zu erwarten. Die Ergebnisse werden daher meist in Form von Tabellen und Diagrammen ausgedrückt die mehrere Variable bzw. Szenarien berücksichtigen.

Zu unterscheiden ist auch zwischen reinen Erzeugungskosten und z.B. Steuern oder Kosten für Transport und Speicherung. Insbesondere Steuern und Abgaben können, wie im Fall elektrischer Strom, für den Endverbraucher stärker zu Buche schlagen als die reinen Erzeugerkosten. Daher würde selbst eine hypothetische Verdoppelung der Erzeugerkosten den normalen Haushaltsstrom nur um ca. 1/3 verteuern.

Für energieintensive Industriebetriebe können die Nebenkosten wegen des internationalen Wettbewerbs selbstverständlich nicht in dieser Höhe zu Buche schlagen d.h. diese Betriebe beziehen den Strom derzeit gegenüber Privathaushalten größenordnungsmäßig etwa zum halben Preis.

Zusammensetzung des Strompreises für Haushalte in Deutschland.



Quelle: Wikipedia

Produktionskosten für Strom aus konventionell betriebenen Kraftwerken

Die Produktionskosten für den Strom aus konventionell betriebenen Kraftwerken setzen sich aus 2 Hauptkomponenten zusammen:

- Kapitalkosten für den Bau bzw. späteren Rückbau der Infrastrukturen
- Betriebskosten mit dem Schwerpunkt laufend benötigter Nachschub an fossilen oder atomaren Energieträgern bzw. Entsorgung der Rückstände

Unter Vernachlässigung einer Reihe von Detailaspekten liegen die in verschiedenen Quellen genannten, durchschnittlichen Erzeugungskosten in Europa heute etwa bei:

0,03 – 0,06 € / kWh

Der niedrigere Wert bezieht sich meist auf abgeschriebene Kohle - oder Kernkraftwerke. Bei den fossil betriebenen Kraftwerken spielen auch die steigenden Kosten für die CO₂ Emissionsrechte eine Rolle. Diese Kosten unterliegen neben den gesetzlich festgelegten Rahmenbedingungen den Entwicklungen auf dem freien Markt (Emissionshandel). Grundsätzlich ist im Sinne des Umweltschutzes eine zunehmende Verknappung der Emissionszertifikate politisch gewollt wodurch ihr derzeit geringer Anteil an den Energiekosten in den nächsten Jahren vermutlich eine maßgebliche Größe erreichen wird.

Ein weiterer Aspekt einer die Zukunft betreffenden Kostenanalyse ist die Notwendigkeit der Erneuerung von Kraftwerken. Der Neubau vieler konventioneller Kraftwerke würde zwar zu einer besseren Effizienz führen. Die Investitionen die auf Grund der zunehmenden Umwelt – und Sicherheitsauflagen stark steigende Tendenz haben, müssen aber abgeschrieben werden und verursachen in der Folge höhere Produktionskosten. Nach unterschiedlichen Schätzungen könnten sich die Produktionskosten für Strom aus konventionellen Kraftwerken dadurch nahezu verdoppeln. Eine maßgebliche Rolle spielt dabei auch die Frage in welchem Umfang die kostspielige CO₂ Abscheidung (→ CCS Technik) eingesetzt würde.

Produktionskosten für Strom aus erneuerbaren Energiequellen

Die reinen Produktionskosten für den Strom aus erneuerbaren Quellen ergeben sich im Gegensatz zu konventionell erzeugten Strom fast nur aus den Kapitalkosten zur Amortisierung einer Anlage.

Die für alle Zeiten kostenlose Energiezufuhr im Fall Sonne, Wind und Geothermie, aber auch die einfache Technik (insbesondere in der PV) sorgen für vergleichsweise sehr niedrige Betriebskosten und gleichzeitig dafür, dass zukünftige Kostensteigerungen praktisch ausgeschlossen sind.

Damit ist die Stromgewinnung aus **e.En.** die einzige Energieform bei der die Entwicklung der Erzeugungskosten nicht nur keine steigende, sondern sogar eine sinkende Tendenz aufweist.

Die Infrastrukturen zur Stromerzeugung aus **e.En.** haben – anders als die seit 100 Jahren optimierten konventionellen Kraftwerke - noch ein gewaltiges Entwicklungspotential, das in Zukunft sowohl technisch als auch kostenmäßig nur zu Verbesserungen führen kann.

Viele falsche bis abenteuerliche Fehleinschätzungen im Bereich **e.En.** beruhen darauf, dass Kosten und technische Daten als statische Größen gesehen wurden und werden. Diese “konservative“ Betrachtungsweise ist hier die wirkliche Fehlkalkulation.

Noch vor wenigen Jahren wurden selbst von Experten z.B. die Kosten für PV Strom bis zu 10 x so hoch angesetzt wie für den Strom aus herkömmlichen Kraftwerken und damit scheinbar bewiesen, dass diese Technik keine Chance hatte.

Heute nähern sich die realen Produktionskosten für den Strom aus **e.En.** in vielen Bereichen bereits jenen aus fossilen Quellen, insbesondere wenn der Rechnung die technische Nutzungsdauer und nicht eine wesentlich kürzere, willkürlich definierte Amortisationsdauer zugrunde gelegt wird.

Stromkosten im Vergleich: herkömmliche gegen erneuerbare Energie

Ein realistischer Vergleich der zukünftigen wirtschaftlichen Voraussetzungen muss also der Tatsache Rechnung tragen, dass die Kostenentwicklungen in den Bereichen konventionelle Energieformen bzw. **e.En.** gegenläufig sind.

- Strom aus konventionellen Kraftwerken wird tendenziell immer teurer, hauptsächlich durch die offensichtlich unumkehrbare Verteuerung aller fossilen Energieträger. Aber auch der anstehende Erneuerungsschub beim konventionellen Kraftwerksbestand muss über die Strompreise finanziert werden.
- Strom aus **e.En.** wird tendenziell immer billiger da die Infrastrukturen, also der hier maßgebliche Kostenfaktor, auf Grund des bestehenden großen Entwicklungspotentials, des Wettbewerbes und der zunehmenden Stückzahlen immer kostengünstiger werden.

Je nach subjektiver Perspektive kann man nun den Überlegungen einen Zeitraum von einigen wenigen Jahren zugrunde legen und damit zum Schluss kommen, dass **e.En.** Geldverschwendung sind oder man denkt darüber hinaus, z.B. an die Zeit nach 2020, dann wird man zu gegensätzlichen Erkenntnissen kommen müssen.

Aufschlussreich ist eine Studie des **Frauenhofer – Institutes für solare Energiesysteme (ISE)** die davon ausgeht, dass im Jahr 2020 Strom aus PV Großanlagen bei einer jährlichen Einstrahlung von 2000 KWh/m² (Südeuropa, Nordafrika) billiger sein wird als fossil erzeugt. Dabei ist die PV unter den **e.En.** die teuerste. Die Studie kommt zu den nachfolgenden Prognosen für 2020:

- **PV Strom 2020 : 0,072 €/KWh** (bei einer jährlichen Einstrahlung von 2000 KWh/m²)
- **konventionell erzeugter Strom 2020: 0,08 €/KWh**(Quelle VDI Nachrichten Nr. 44 /2011)

Nicht übersehen darf man in diesem Zusammenhang, dass ein bedeutender Anteil an **e.En.** am gesamten Energiemix auch dazu beiträgt, den Preisanstieg der fossilen zu bremsen.

Die Energiewende ist mit notwendigen Investitionen verbunden deren Kosten wohl oder übel auf alle Verbraucher abgewälzt werden müssen. Diese Mehrkosten sind aber nicht verlorenes Kapital sondern

Investitionen in Infrastrukturen die anschließend über Generationen der Wertschöpfung dienen indem sie Energie sparen oder kostenlose Sonnen - und Windenergie in wertvollen Strom verwandeln. Dazu kommen viele sinnvolle Arbeitsplätze, die zweifellos auch die Wirtschaft fördern. Die vorübergehenden Mehrbelastungen sind insbesondere für reiche Industrieländer leicht verkraftbar, nicht zuletzt weil durch Investitionen in **e.En.** in vielen Fällen auch die Notwendigkeit für den Neubau von konventionellen Kraftwerken entfällt. Je nach Rahmenbedingungen geht es hier allenfalls vorübergehend um 15% oder 20% höhere Stromkosten für den Endverbraucher. Dabei liegen die Energiekosten (einschließlich Heizung, Mobilität usw.) derzeit z.B. für den Durchschnittsbürger in Deutschland im Bereich von 7,2% seiner gesamten Konsumausgaben. (Quelle: Wikipedia)

Es erscheint ziemlich abwegig ein paar Ct. mehr für die kWh, für die meisten Menschen in den Industrieländern nicht mehr als ein kleines Ärgernis, wichtiger zu nehmen als die Gefahr einer globalen Klimaerwärmung mit möglicherweise über Jahrhunderten reichende Schäden für Mensch und Natur. Allein die Kosten eines Klimawandels könnten die einer zielstrebig umgesetzten Energiewende um ein Vielfaches übersteigen.

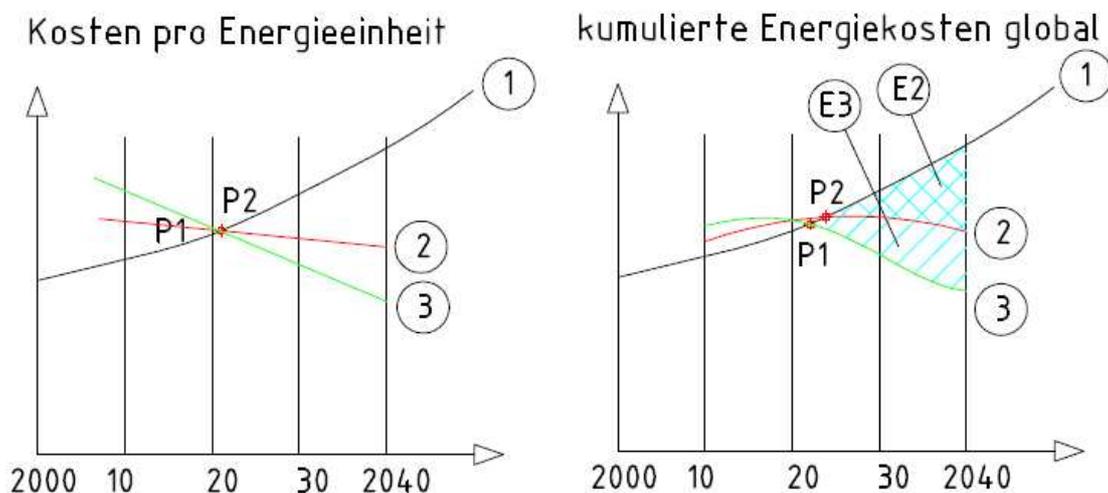
Die folgende Graphik ist ein Versuch die voraussichtliche Grundtendenz bei den Kosten für die Stromerzeugung für 3 unterschiedliche Szenarien zu vergleichen. Eine exakte Prognose kann derzeit niemand erstellen, ein derartiger Anspruch wäre auch hier wirklichkeitsfremd. Auch eine möglichst weitgehend mit Fakten untermauerte Analyse – wie sie hier versucht wurde – kann nicht alle wissenschaftlichen, technischen und kostenmäßigen Entwicklungen sowie die zukünftige Einstellung von Bürgern, Politik und Wirtschaft vorhersehen.

Grundsätzliche Kostenentwicklung bei der Stromproduktion – 3 Szenarien bis zum Jahr 2040

Szenario 1: Vorrang für konventionelle Energieträger

Szenario 2: geringe Förderung der e.E.

Szenario 3: kräftige Förderung der e.E. mit langfristiger Perspektive



Quelle: Verfasser:

P₁, P₂ : angenommene Zeitpunkte zu denen im Durchschnitt Kostenparität zwischen konventioneller und e.E. besteht.

E₂, E₃ : diese Flächen (azurblau) sind ein Maß für das Einsparpotential gegenüber Szenario 1 bis 2040

Die Kurven 2 und 3 gehen grob von der Annahme aus, dass 15 Jahre nach dem Erreichen der Kostenparität (P₁, P₂) etwa 50% aus e.E. stammen.

Die Graphik vermittelt, dass die Kosten für **e.En.** im Zeitbereich 2010 bis zu den Zeitpunkten P₁ bzw. P₂ tatsächlich höher sind als für konventionelle. Die Verengung des Blickfeldes auf diesen Bereich wird aber um den Preis erkaufte, dass ein anschließend mögliches, großes Sparpotential erst mit Verspätung nutzbar wird. Gewissermaßen müssen etwas günstigere Energiekosten für den Augenblick durch wesentlich größere Belastungen später bezahlt werden. Die Graphik vermittelt weiters, dass es nur mit den **e.En.** möglich ist die Energiekosten langfristig stabil, wahrscheinlich sogar rückläufig zu gestalten.

Die kostenmäßigen Betrachtungen wurden hier der Einfachheit halber auf die Stromerzeugung bezogen, nicht zuletzt weil in diesem Bereich eine relativ übersichtliche Situation besteht. Grundsätzlich lässt sich vieles selbstverständlich auf andere Energiebereiche übertragen.

5.3 DIE ROLLE DER POLITIK.

Man sollte glauben, dass die Notwendigkeit einer Energiewende als logische Antwort auf rückläufige Ressourcen, Umweltzerstörung und Klimaerwärmung aber auch auf langfristige wirtschaftliche Erfordernisse weltweit von der Politik erkannt wird. Dem ist leider nicht so.

Die Schwierigkeit eingefahrene Denkmuster zu verlassen und viele Zwänge in Politik und Wirtschaft sind einige der Ursachen dafür, dass die notwendige und zu erwartende Umstellung viel schwerfälliger abläuft als es die Umstände erfordern würden.

Die Kräfte des freien Marktes sind hier nicht ausreichend. Man darf sich nicht erwarten, dass Verbraucher und Unternehmer ihre Entscheidungen anders als an ihren unmittelbaren wirtschaftlichen Interessen ausrichten. Und diese stimmen nur selten mit den langfristigen Interessen der Allgemeinheit überein. So auch bei den **e.En.** sofern die Politik nicht mit gezielten Förderungen die Rahmenbedingungen verändert.

Aber auch der Handlungsspielraum der Politik ist derzeit nicht allzu groß. Die Politiker, selbst nur ausnahmsweise Fachleute, sind mit massiven Einflussnahmen durch große Konzerne, dem verständlichen Widerstand der Industrie und der Bevölkerung gegen Mehrbelastungen und den oft verwirrenden gegensätzlichen Expertenmeinungen konfrontiert.

Zu ein - und demselben Thema gibt es meist mehrere Wahrheiten und im Zweifel zählt wohl jene Auslegung, die zur eigenen Sicht der Dinge passt. Die Tatsache, dass Politiker zuerst ihre persönliche Wahl oder Wiederwahl, oder zumindest die ihrer Partei im Auge haben müssen, ist ebenfalls keine gute Voraussetzung für langfristige Konzepte.

Nationale Alleingänge sind schon aus Wettbewerbsgründen sehr schwierig und dazu nur von begrenzter Wirksamkeit.

Trotz aller Schwierigkeiten haben Politik und Wirtschaft aber inzwischen auch entscheidende Fakten geschaffen. Dank dem Pioniergeist vieler Unternehmer und einer hauptsächlich in Form von finanziellen Anreizen geleisteten politischen Unterstützung haben die **e.En.** heute in einigen Ländern bereits ein mit etablierten Bereichen vergleichbares wirtschaftliches Gewicht erreicht.

Und diese Entwicklung hat die Tendenz sich selbst zu verstärken. Das Potential für technische, organisatorische und wirtschaftliche Verbesserungen ist in diesem Bereich noch sehr groß. Allein zunehmende Produktionszahlen führen zu kräftigen Kostensenkungen, z.B. führt eine Verdoppelung der Produktion nach einer Faustregel zu einer Reduzierung der Kosten um 20%.

Die Umsetzung der Energiewende führt natürlich zu weit mehr als nur zu einer Verdoppelung der derzeitigen Produktion.

Mehrere Länder, wie z.B. Deutschland, haben bereits die Konsequenzen aus diesen Erkenntnissen gezogen und grundsätzlich eine politische Entscheidung in Richtung Energiewende getroffen. Man darf davon ausgehen, dass sich die Vorleistungen für diese Länder bezahlt machen, weil sie morgen in einer immer wichtiger werdenden Technologie eine führende Rolle übernehmen werden.

Eine sinnvolle Energiepolitik muss für die nächsten 2-3 Generationen die friedliche Koexistenz und gegenseitige Ergänzung von konventionellen - und **e.En.** und planen, mit zunehmenden Anteilen an erneuerbaren und abnehmenden Anteilen an konventionellen Energieformen. Und dies so weit als möglich weltweit, den die Probleme um die es geht, machen nicht an den Staatsgrenzen halt. Die unverzichtbare Rolle der Politik um diese Veränderungen international koordiniert und ohne allzu großen Reibungsverlusten voranzutreiben, ist das Schaffen von geeigneten Rahmenbedingen. Fehlen diese, würden sich die Kosten einer Energiewende vervielfachen, irreversible Schäden überhand nehmen und das Erreichen der Ziele um viele Jahre verzögern.

Der magere Erfolg der bisherigen Klimakonferenzen gibt eine Ahnung davon wie schwierig es ist und sein wird die erforderliche weltweite Koordinierung einer zukunftsweisenden Energiepolitik zu erzielen. Eine Energiepolitik die das Schicksal unseres Planeten und die nachhaltige Versorgung in den Vordergrund stellt und nicht den derzeitigen Dschungel an egoistischen, meist kurzsichtigen nationalen - oder Konzerninteressen. Allein darauf zu warten, dass sich die Politiker der Welt zusammenraufen um gemeinsam wirkliche Lösungen zu planen und umzusetzen könnte angesichts der Dringlichkeit der Probleme zu lange dauern.

Vorstellbar wäre die Delegation an ein Forum der besten und integersten Fachleute aus aller Welt die ohne politischen und wirtschaftlichen Zwängen wirksame Konzepte entwickeln, die dann der Politik als Empfehlungen für internationale Abmachungen dienen sollten.

Ein Beispiel für eine denkbare Organisationsform eines derartigen Forums ist der "Club of Rome". In seinen Reihen gibt es zahlreiche Nobelpreisträger die selbstverständlich in hohem Maß qualifiziert sind und ihre Rolle seit vielen Jahren bereits in einer ähnlichen Funktion sehen. Sie haben in vielen Bereichen schon vor Jahrzehnten vor Fehlentwicklungen gewarnt die heute offenkundig sind und auf bessere Alternativen hingewiesen. Leider, mangels politischem Rückhalt, ohne großer Resonanz.

5.4. ÖKOSTROM AN STELLE VON FOSSILEN ENERGIETRÄGERN

Aus heutiger Sicht hat nur die Sonne und in geringerem Maß Wind das Potential um den gesamten Energiebedarfes der Menschen nachhaltig und umweltfreundlich zu decken. Andere erneuerbare Energieträger wie Biomasse können eine wichtige ergänzende Funktion übernehmen. Die Möglichkeiten der Geothermie sind derzeit noch schwer einzuschätzen.

Fossile und atomare Energie sind weder nachhaltig noch umweltfreundlich und müssen daher Schritt für Schritt ersetzt werden.

D.h. der Großteil des Energiebedarfes wird nach abgeschlossener Energiewende in Form von elektrischem Strom gewonnen. Damit entfällt die Notwendigkeit aus festen, flüssigen oder gasförmigen fossilen Energieträgern Strom zu erzeugen. Umgekehrt entsteht das Problem, dass flüssige oder gasförmige Energieträger wie sie heute z.B. im Bereich Mobilität gebraucht werden, nicht ohne weiteres durch Strom ersetzt werden können. In den wichtigsten Energiebereichen zeichnen sich somit die nachfolgenden Veränderungen ab:

Strom: der benötigte elektrische Strom muss nicht mehr aufwändig und mit hohen Verlusten in kalorischen Kraftwerken produziert werden sondern wird sozusagen "netto" gewonnen.

Dadurch werden Verluste vermieden, die derzeit allein etwa 20% der gesamten, weltweit gewonnenen Primärenergie verbrauchen.

Alle Energieprognosen rechnen mit einem in Zukunft zunehmenden Anteil des elektrischen Stroms am gesamten Energieverbrauch d.h. die Vorteile der direkten Stromgewinnung aus Solar – und Windkraft werden voraussichtlich noch zunehmen.

Wärme: Strom kann fast verlustfrei und meist ohne großem Aufwand in Wärme verwandelt werden d.h. Strom kann in nahezu allen Bereichen und meist vorteilhaft anstelle von fossilen Energieträgern eingesetzt werden. Soweit nicht bereits heute Wärme elektrisch erzeugt wird, sind natürlich teilweise technische Anpassungen notwendig.

Allerdings sollte die direkte Anwendung der "edlen" elektrischen Energie z.B. in der Raumheizung eher die Ausnahme bleiben. Eine Wärmepumpe würde hier mit demselben Stromkonsum etwa 4 Mal mehr Wärme liefern, erfordert aber auch wesentlich höhere Investitionen.

Verkehr Im Bereich Mobilität spielen elektrische Antriebe (ausgenommen die Eisenbahn) derzeit nur eine untergeordnete Rolle. Fossile Energieträger sind in diesem Bereich zweifellos am schwierigsten durch Strom zu ersetzen bzw. erscheint dies in überschaubarer Zeit überhaupt nur begrenzt möglich. Die direkte oder indirekte Nutzung von elektrischer Energie für LKW, Schiffe und Flugzeuge ist mittelfristig kaum denkbar. Dazu kommt, dass sich alle Infrastrukturen in über

100 Jahren weltweit auf den Verbrennungsmotor eingestellt haben (z.B. das Tankstellennetz) und daher nur langfristig an grundsätzlich andere Voraussetzungen angepasst werden können.

Daher liegt voraussichtlich noch für viele Jahre der sinnvollste Einsatz von Erdölderivaten in der Mobilität. Elektrofahrzeuge erleben trotzdem derzeit einen kräftigen Aufwärtstrend weil sie für bestimmte Anwendungsbereiche durchaus Vorteile bieten wie umweltfreundlichen Betrieb und geringe Energiekosten.

Zudem wird die Entwicklung und Markteinführung von Elektrofahrzeugen in einigen Ländern auch als zukünftige Alternative zum Verbrennungsmotor gesehen und daher gefördert. Beispielsweise gibt es in Deutschland die Absichtserklärung, bis 2020 eine Million Elektroautos in Betrieb zu nehmen – das sind dann allerdings erst knapp 2,5 % aller PKW.

Elektroantriebe haben eine viel bessere Energieeffizienz als Verbrennungsmotoren. Ottomotoren haben einen Wirkungsgrad von etwa 20%, ein System Batterie – Elektromotor etwa 90%. Dazu kommt noch die Fähigkeit des Elektroantriebes Bremsenergie oder bei Talfahrt frei werdende Energie teilweise zurück zu gewinnen.

Auch Fahrzeuge die über Wasserstoff und Brennstoffzellen angetrieben werden sind Elektrofahrzeuge. Allerdings ist der Wirkungsgrad hier (bezogen auf den Energieinhalt des Wasserstoffs) wesentlich geringer als der einer Batterie (derzeit etwa 40%), Es gibt auch die Möglichkeit Wasserstoff als Treibstoff für konventionelle Verbrennungsmotoren zu nutzen.

Die maßgeblichen energetischen Verluste bei Elektrofahrzeugen entstehen derzeit allerdings nicht im Fahrzeug, sondern bei der Stromerzeugung im fossil betriebenen Kraftwerk bzw. beim Stromtransport und in der Umwandlungskette bis zur Speicherung der elektrischen Energie im Fahrzeug.

Im Fall Brennstoffzelle entstehen zusätzlich große Verluste bei der Elektrolyse von Wasser zur Herstellung von Wasserstoff und bei der Wiedergewinnung von Strom aus Wasserstoff.

Die gesamte Energie - bzw. ökologische Bilanz von der fossilen Primärenergie im Kraftwerk bis zum fahrenden Auto ist daher heute bei Batteriebetrieb kaum günstiger als beim Verbrennungsmotor und mit der Brennstoffzelle sogar deutlich ungünstiger.

Solar – und Windstrom würde diese Bilanzen aber massiv zugunsten des Elektroantriebes verändern, weil die Kraftwerksverluste entfallen. Zudem wären die Verluste in diesem Fall weniger relevant, da sie nur unbegrenzt vorhandene und saubere Wind – und Solarenergie betreffen.

Eine Flotte von Elektroautos kann zudem die Funktion eines großen Speichers übernehmen und damit einen Beitrag zur Lösung eines weiteren Problems der Stromwirtschaft leisten, nämlich dem der Diskontinuität von Stromerzeugung bzw. Stromverbrauch.

Dies gilt insbesondere für das Konzept Wasserstoff – Brennstoffzelle. Wasserstoff in reiner Form oder in Methan verwandelt kann auch außerhalb der Fahrzeuge in großen Mengen gespeichert und transportiert werden.

Die Elektrifizierung der PKW befindet sich derzeit in einer Anfangsphase und ist gekennzeichnet durch eine Vielzahl von unterschiedlichen Konzepten. Der Strom kann dabei entweder von Batterien oder von einem System aus Wasserstoff und Brennstoffzelle geliefert werden. Bis zu einem gewissen Grad ist auch das Hybridfahrzeug ein Elektrofahrzeug da in diesem Fall ein herkömmlicher Verbrennungsmotor und ein Batterie - gespeister Elektroantrieb zusammenarbeiten.

Die grundsätzlichen Vor – und Nachteile der unterschiedlichen Komponenten und Konzepte sind u.a.

Batterie Vorteile:

- hoher Wirkungsgrad beim Laden – und Entladen
- günstige Betriebskosten
- einfache Technik beim Laden – und Entladen, Laden z.T. in normaler Steckdose möglich
- Bremsenergie kann teilweise zurück gewonnen werden

Batterie Nachteile:

- begrenzte Speicherkapazität – d.h. geringe Reichweite
- stundenlange Ladezeiten – verhindert praktisch lange Fahrten
- hohes Gewicht
- hohe Kosten, Bedarf an seltenen Rohstoffen für die Batterien

Brennstoffzelle Vorteile:

- Speicherkapazität, Tanken und Reichweiten vergleichbar mit dem konventionellen PKW, daher grundsätzlich geeignet als Ersatz für fossile Treibstoffe im großen Stil
- große Energiemengen können auch außerhalb der Fahrzeuge gespeichert werden
- kein Bedarf an seltenen Rohstoffen
- nur reiner Wasserdampf wird emittiert

Brennstoffzelle Nachteile:

- Wirkungsgrad in Summe weniger als halb so groß wie Batterie
- technischer Aufwand und Kosten zum Laden und Speichern wesentlich höher
- keine Möglichkeit Bremsenergie zurück zu gewinnen (außer über zusätzliche Batterie)
- hohe Kosten
- Tankstellennetz fehlt oder müsste umgebaut werden

PKW - Elektroantrieb - nur über Batterien

Die Batterien werden normalerweise während der Standzeit aufgeladen. Auf Grund der oben angeführten Vor – und Nachteile Eignung dort, wo Fahrzeuge im Kurzstreckenbetrieb eingesetzt werden z.B. Pendeln zum Arbeitsplatz. Ab Fahrstrecken über ca. 100 km stellen Gewicht und Kosten der Batterie beim derzeitigen Stand der Technik das Konzept in Frage. Viele Verbraucher könnten das Elektrofahrzeug daher nur als Zweitwagen benützen, die Zahl der Autos und die Kosten für Mobilität würden sich entsprechend erhöhen.

Eine andere Form der Elektromobilität, die auf noch kürzeren Strecken ebenfalls bis zu einem gewissen Grad das herkömmliche Auto ersetzen kann, ist das Elektrofahrrad.

PKW - Elektroantrieb über Wasserstoff – Brennstoffzellen

Statt Wasserstoff können (meist mit schlechterem Wirkungsgrad) auch andere Gase eingesetzt werden z.B. Methan. Es besteht keine Begrenzung der Reichweite da praktisch in herkömmlicher Weise getankt werden kann. Auch Busse (bereits im Einsatz) und vermutlich später auch LKW könnten mit Brennstoffzellen betrieben werden.

PKW mit Wasserstoff – Brennstoffzellen haben bereits Bewährungsproben auf langen Strecken bestanden. Zudem gibt es auch bei dieser Technik zweifellos noch ein großes Entwicklungspotential.

Möglicherweise wäre die Kombination Batterie + Brennstoffzelle denkbar, da der eigentliche Elektroantrieb derselbe ist. Die Batterie liefert den Strom vorteilhaft für kurze Strecken und kann Bremsenergie zurückgewinnen, die Brennstoffzelle würde auf langen Strecken aktiviert.

Hybridantrieb

Das Fahrzeug besitzt sowohl einen konventionellen Verbrennungsmotor als auch einen Elektroantrieb die nach unterschiedlichen Konzepten zusammenwirken. Der Elektromotor kann entweder nur den an sich konventionellen Antrieb unterstützen aber nur kurze Fahrstrecken allein bewältigen oder der Hauptantrieb ist elektrisch und der Verbrennungsmotor hat nur die Aufgabe die Batterie auf längeren Fahrstrecken laufend zu laden. (“Reichweitenverlängerer“) Besteht die Möglichkeit die Batterie bei Stillstand des Fahrzeuges aus einer externen Energiequelle zu laden, und damit etwas größere Strecken elektrisch zu fahren, spricht man von einem Plug - in- Hybrid.

5.5 SPEICHERUNG UND TRANSPORT VON STROM

Ein erheblicher Nachteil einer vorwiegend auf e.En. beruhende Energieversorgung ist die Tatsache, dass die Produktion von Wind – und Solarstrom je nach Tages- und Jahreszeit und dazu in Abhängigkeit vom jeweiligen Wetter stark schwankt. Dem ebenso schwankenden Stromverbrauch, an dem sich gegenüber der heutigen Situation kaum etwas ändern würde, überlagert sich somit noch eine stark fluktuierende Stromproduktion.

Diese Problematik kann nur teilweise durch die bereits bestehenden Regelmechanismen oder durch organisatorische und technische Anpassungen gelöst werden. Zusätzlich wird eine wesentliche Verstärkung der Speicher – und Transportkapazität für Strom notwendig.

5.5.1 Speicher haben eine Doppelfunktion, indem sie einerseits vorübergehend überschüssige Stromenergie aufnehmen und diese andererseits bei Bedarf wieder abgeben. Sie sind auch heute schon neben den regelbaren bzw. zu – und abschaltbaren Kraftwerken ein unverzichtbarer Teil im Regelmechanismus, der laufend Stromproduktion und Strombedarf in Einklang bringt.

Die gelegentlich zu hörende Behauptung, dass elektrische Energie in dem Augenblick verbraucht werden muss in dem sie erzeugt wird, ist nur die halbe Wahrheit. Elektrische Energie kann zwar nur begrenzt direkt gespeichert werden (mit Kondensatoren). Sehr wohl möglich und seit vielen Jahren erfolgreich praktiziert, ist aber die indirekte Speicherung. Diese bedeutet, dass Strom zunächst in andere Energieformen umgewandelt wird z.B. in mechanische und/oder potentielle wie im Fall Pumpspeicherwerk, in elektrochemische (Batterien) oder in chemische (z.B. Produktion von Wasserstoff durch Elektrolyse).

Aus den umgewandelten Energieformen kann die Stromenergie – abzüglich Verlusten - zurück gewonnen werden, wodurch das Gesamtsystem die Funktion eines Speichers hat.

In der Praxis ist Frage irrelevant ob das direkte oder das indirekte Prinzip zur Anwendung kommt. Vielmehr interessieren am Ende die Wirtschaftlichkeit, die technischen Aspekte und die politische Machbarkeit der Gesamtlösung.

Gerade die Systeme mit großer Kapazität (Pumpspeicherwerk, Batterie) erreichen mit Gesamtwirkungsgraden bis zu 80% eine vergleichsweise sehr gute Energiebilanz.

Auch der Weg über elektrolytisch gewonnen Wasserstoff ist insbesondere mit Blick auf eine zu erwartende Grundversorgung durch Ökostrom, ein Erfolg versprechendes Speicherkonzept. Zwar ist der Gesamtwirkungsgrad hier bis zur Rückführung in elektrischen Strom vergleichsweise gering (derzeit ca. 35%, großtechnisch potentiell bis ca. 50%) dafür bietet dieses Konzept gegenüber z.B. den Pumpspeicherwerken andere Vorteile.

Wasserstoff kann lokal unabhängig, ohne Eingriffe in die Landschaft auch in einer Vielzahl von kleineren Einrichtungen gewonnen werden. Dazu besitzt Wasserstoff neben der Möglichkeit zur Rückführung in elektrischen Strom (z.B. über Brennstoffzellen in Elektrofahrzeugen) eine Vielzahl von anderen Einsatzmöglichkeiten. U.a. kann Wasserstoff durch eine chemische Reaktion z.B. mit CO₂ in Methan verwandelt werden und in dieser Form in das bestehende Gasnetz eingeleitet oder als Treibstoff für herkömmliche Verbrennungsmotoren eingesetzt werden. Auch reiner Wasserstoff kann bis zu einem gewissen Anteil in das öffentliche Gasnetz eingespeist werden.

Die Nutzung von Wasserstoff über Brennstoffzellen könnte damit aus heutiger Sicht das wichtigste Bindeglied zwischen den e.En. und Fahrzeugantrieben werden.

5.5.2 Leistungsfähige Überlandleitungen

Die Notwendigkeit für neue und/oder verstärkte Stromleitungen entsteht weil große elektrische Leistungen aus Solar- und Windstromanlagen bzw. aus Speichern und Reservekraftwerken teilweise über große Entfernungen zu transportieren sind.

Das Problem, dass ein lokales Überangebot an Wind – oder Solarstrom wegen fehlender Leitungskapazität nicht genutzt werden kann, ist z.B. in Deutschland bereits akut. Immer wieder

müssen im Norden Windkraftanlagen abgestellt werden weil die Leitungskapazität zu den Verbrauchern in Süddeutschland zu schwach ist.

Das führt dazu, dass ein Teil der möglichen Einnahmen für den Windstrom ausfällt und dass der im Süden benötigte Strom mit zusätzlichen Kosten und entsprechender Umweltbelastung in konventionellen Kraftwerken erzeugt werden muss.

Bei Solarstrom, der im Süden überwiegt, besteht dasselbe Problem in umgekehrter Richtung.

Die Übertragung von elektrischer Energie über große Entfernungen bei vertretbaren Leitungsverlusten ist heute normaler Stand der Technik. Beispielsweise betragen die Verluste mit der HGÜ Technik (Hochspannung – Gleichstrom – Übertragung) etwa 3% auf 1000 km.

Der Bau von neuen Hochspannungsleitungen in dicht besiedelten Gebieten ist allerdings schwierig, nicht zuletzt durch den verständlichen Widerstand der betroffenen Bevölkerung.

Dem könnte oft durch Landschaft schonende unterirdische Leitungen begegnet werden, sofern die je nach örtlichen Voraussetzungen unterschiedlich hohen Mehrkosten akzeptiert werden.

Mit der Energiewende ist auch die Vision eines Kontinent- übergreifenden Stromnetzes verbunden. Allein die Ausdehnungen von derartigen Netzen reduzieren bereits die Schwankungen in der Produktion von Ökostrom da sich lokal überdurchschnittliche bzw. unterdurchschnittliche Erträge teilweise ausgleichen.

5.5 ÖKOSTROM AUS DEM SONNENGÜRTEL

Nordafrika könnte von der Kapazität her über Solar – und Windenergie seinen eigenen, und dazu den gesamten Energiebedarf Europas decken. Ein – und dieselbe Solaranlage produziert in Nordafrika etwa doppelt soviel Strom wie z.B. in Mitteleuropa. Auch Windstrom wäre auf Grund von starken Winden und nahezu unbegrenzt nutzbarem Gelände günstiger als an den meisten Standorten in Europa. Mit Einschränkungen gelten ähnliche Voraussetzungen am Südrand Europas.

Diese Argumente haben u.a. zum Projekt **Desertec** geführt das sich zum Ziel setzt, bis zum Jahre 2050 etwa 15% des europäischen Strombedarfes mit Solar – und Windstrom aus Nordafrika bzw. aus Ländern im Nahen Osten (“Mena“ Länder) zu erzeugen. Weiters soll mit diesen Anlagen auch ein Großteil des Eigenbedarfes dieser Länder gedeckt werden.

Eine Reihe von großen Konzernen und Geldinstituten sind derzeit an den Planungen und an den z.T. bereits anlaufenden Realisierungen beteiligt.

Dieses Projekt bietet beispielhaft eine politische und wirtschaftliche win - win Situation für alle Beteiligten und würde auch in den Schwellenländern wesentlich zu einer Weichenstellung in Richtung **e.En.** beitragen.

Potentiell besteht durchaus die Möglichkeit den für Europa bestimmten Anteil noch deutlich über die angepeilten 15% zu steigern bzw. die vorgesehenen Aktivitäten zu beschleunigen. Dadurch könnte Nordafrika zu einer der tragenden Säulen einer nachhaltigen und umweltfreundlichen Energieversorgung für Europa werden. Natürlich entstehen Befürchtungen hinsichtlich der damit geschaffenen Abhängigkeiten d.h. der Anteil aus Nordafrika muss aus strategischen Gründen begrenzt bleiben. Abhängigkeiten sind aber immer gegenseitig und diese Tatsache ist auch heute die Grundlage für eine relativ sichere Versorgung mit Öl und Gas. In Europa bereitstehende Reservekapazitäten mit fossilen Energieträgern könnten die Gefahr von Lieferengpässen zusätzlich entschärfen.

Ein weiteres Argument für Ökostrom aus Nordafrika ist die Möglichkeit dort mit großen Pumpspeicherkraftwerken (zwischen Mittelmeer und den Bergen in Küstennähe) den Strom bedarfsgerecht zu erzeugen und ihn damit zu valorisieren bzw. in Europa den Bedarf an Speicher – und Regelkapazität zu reduzieren.

Eine nachhaltige und umweltverträgliche Energieversorgung für Europa die lange vor 2050 realisierbar wäre wenn sich Bevölkerung, Politik und Konzerne ernsthaft darauf verständigen, könnte sich z.B. wie folgt zusammensetzen:

- ¼ Energie aus konventionellen Quellen
- ¼ erneuerbare Energie aus Europa
- ¼ erneuerbare Energie aus Nordafrika
- ¼ Einsparungen (ein Teil davon durch Vermeidung von Kraftwerksverlusten)

