

Die Energieversorgung der Zukunft

Whitepaper

Inhaltsverzeichnis

| | |
|---|----|
| A. Bedeutung der Energie-Versorgung..... | 2 |
| B. Endlichkeit der fossilen Energieträger..... | 3 |
| C. Folgen der Abhängigkeit von Energieimporten..... | 4 |
| D. Umweltprobleme der fossilen Energieträger..... | 5 |
| F. Herausforderung und Zeithorizont..... | 7 |
| G. Möglichkeiten für das Energienetz der Zukunft..... | 8 |
| H. Mit Envenion zum Erfolg..... | 10 |
| I. Rolle von Envenion in der Energiewende..... | 11 |



Autark und klimaneutral

Nicht morgen, sondern heute!

Wir gestalten Ihre persönliche Energieversorgung auf treuhänderischer Basis.

A. Bedeutung der Energie-Versorgung

Ein Tag ist meist noch keine 2 Stunden alt, und schon haben wir in unserer Lebensweise eine große Zahl von Maschinen für uns arbeiten lassen, vom Wecker über ein Fahrzeug zum Computer am Arbeitsplatz. Alle diese Maschinen brauchen einen Energiestrom, um arbeiten zu können. Meistens macht sich das nur an der Energierechnung bemerkbar, aber Energie ist die Lebenskraft unserer technologisch hochentwickelten Lebensweise.

Als so zentrales Element kann die Bedeutung dieses Begriffes aus der Physik nicht oft genug betont werden. Energie ist die Fähigkeit, Arbeit zu verrichten. Sie wird dabei weder erzeugt noch vernichtet (1. Hauptsatz der Thermodynamik). Sie fließt immer von einem Zustand zu einem anderen und verteilt sich in eine weniger konzentrierte Form (2. Hauptsatz der Thermodynamik). Einen Teil dieses Energiestromes zweigen technische Maschinen ab und nutzen ihn für unsere Zwecke, manche produktiv, die meisten zum Endverbrauch.

An der Sicherung der Energieversorgung hängt der Fortbestand unserer Lebensweise. Es ist ein direkter Zusammenhang zwischen dem Wohlstand einer Gesellschaft und seinem Energieverbrauch zu beobachten, typischerweise werden für 1 EUR Bruttoinlandsprodukt je Bürger 1 bis 2 kWh Energie umgesetzt. In Deutschland beträgt das jährliche Pro-Kopf-Bruttoinlandsprodukt 41.000 EUR, der Pro-Kopf-Energieverbrauch 43.000 kWh [1]. Die Energieversorgung ist mehr als ein Wirtschaftszweig, es ist die Basis der Gesellschaft.

Technische Innovationen machen immer komplizierte Arbeiten für Maschinen durchführbar und neue Energieformen zugänglich (z.B. Kernkraftwerke oder Bohrplattformen). Es ist jedoch wichtig, nicht zu verwechseln: Technologie hat nicht Energie entstehen lassen, sondern nur vorhandene Energieträger und Quellen nutzbar gemacht.

Offensichtlich benötigen auch Maschinen, die einen Strom von Energie bereitstellen (Fördertechnik, Kraftwerke oder Motoren) selbst Energie, sowohl zu deren Herstellung als auch zu ihrem Betrieb. Das Verhältnis von bereitgestellter Energie zu der bei der Bereitstellung aufgewendeten (oder später noch dazu nötigen) trägt den Namen **Energy-Returned-On-Energy-Invested, EROEI** (oder auch nur **Energy-Return-Of-Investment, EROI**).

EROEI wirkt auf die Wirtschaftlichkeit, denn geringer Produktionsaufwand bedeutet auch geringe Produktionskosten. Kombiniert mit EROEI wird Profit-Maximierung zum Low-Hanging-Fruit-Prinzip: die Ressource mit dem höchsten EROEI wird zuerst ausgebeutet und zuerst erschöpft.

Energy-Returned-On-Energy-Invested:

Das Verhältnis von gewonnener Energie zur bei der Gewinnung investierten Energie. Ein EROEI von 3:1 bedeutet, dass zur Gewinnung von 3 kWh zunächst 1 kWh aufgewendet wird. Nur der Teil von Energie, der nicht zum Betrieb der Anlagen benötigt wird, die Netto-Energie - in diesem Beispiel 2 kWh - kann frei für Aktivitäten außerhalb der Energiewirtschaft eingesetzt werden. Fallendes EROEI kann steigende Brutto-Produktion überwiegen und fallende Netto-Energie-Verfügbarkeit bedeuten. Typische Werte für EROEI in der Energiewirtschaft reichen heute von 2:1 bis 30:1 [2]. Für alle Bereiche außerhalb der Energiewirtschaft steht nur die Netto-Energie zur Verfügung. Als Minimum für den Erhalt unserer Gesellschaft wird ein EROEI von 13:1 angesehen [3].

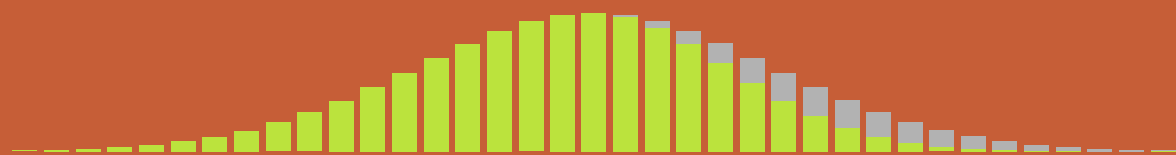
B. Endlichkeit der fossilen Energieträger

Im 19ten Jahrhundert lag der EROEI konventionellen Erdöls über 50:1, bei Kohle noch höher. Um 50 kWh (entspricht ca. 4,5 Litern Erdöl) zu fördern und zu verkaufen, wurde nur 1 kWh für alle Aufwendungen (Bohren, Fördern, Transport usw.) benötigt. Selbst mit primitiver Technik konnten riesige Energiemengen am Markt angeboten werden. Doch der EROEI von Erdöl wird im globalen Mittel heute zwischen 20:1 und 15:1 geschätzt [4]. Der Mangel an „gutem Rohstoff“ führt zu extremen Beispielen von geringem EROEI: Im Golf von Mexiko reichen Bohrungen Kilometer tief unter den Grund des Meeresbodens; in den USA wird der Untergrund von versiegten oder neuen Bohrlöchern zertrümmert und ausgespült; in Kanada wird mit Teer vermischter Sand „gefördert“.

Doch die globale Förderung von Erdöl stagniert seit einigen Jahren bei ca. 100 Millionen barrel/Tag (1 barrel = 159 Liter). Mehr und mehr ehemals exportierende Länder überschreiten ihr **Fördermaximum**, steigern ihren eigenen Verbrauch und werden zu Importeuren von fossilen Brennstoffen.

Für einen Anhaltspunkt, wie lange Rohstoffe reichen, werden statt festen Jahreszahlen die momentan förderbaren Reserven durch die momentanen Förderungsraten geteilt. Bei den Kohlenwasserstoff-Energieträgern ergibt dies: für Kohle 140 bis 180 Jahre, für Erdgas 40 bis 60 Jahre, für Erdöl 40 bis 60 Jahre [5]. Für diese Zeitspannen wäre der heutige Verbrauch möglich, exponentielles Wachstum des Bedarfs ist darin nicht vorgesehen, EROEI wird dabei nicht betrachtet.

Fördermaximum (Peak-Oil): Ein auf Beobachtungen beruhendes Modell, das ursprünglich die Erdöl-Förderung beschreibt für einzelne Vorkommen aber auch die gesamte Welt. Die Förderrate eines erschlossenen Vorkommens steigt mit dem Aufbau von mehr Fördereinrichtungen erst langsam, dann schnell bis zu einem Maximum an und kommt über diesen Wert trotz eskalierendem Aufwand nicht hinaus. Nach einem mehrjährigem Plateau fällt sie erst langsam, dann schneller und sinkt langfristig gegen null. Gegen die Zeit grafisch aufgetragen sieht der Verlauf der Förderrate wie eine Glockenkurve aus. Der Niedergang wird von fallendem EROEI begleitet; dadurch fällt die verfügbare Netto-Energiemenge (in grün) schneller als die Förderrate (in grau). Die Strategie der Wirtschaftspolitik bestimmt den Verlauf des Förderrückganges.



Der hier nur zur Verdeutlichung schematisch dargestellte Zeitraum umspannt bei Erdöl 300 Jahre mit dem Gipfel im Jahre 2018. Es wird noch für Jahrzehnte Erdöl am Markt angeboten werden, doch der Abschwung ist nur eine Frage der Zeit. Der Niedergang wird aufgeschoben durch Neufunde (die seltener und kleiner werden) und/oder gründlichere Ausbeute (z.B. fracking). Erdölexportierende Staaten bemühen sich, ihre Exportraten konstant zu halten, und akzeptieren im Förderungsplateau eher extrem schwankende Preise als ausfallende Einnahmen. Nach dem Fördermaximum verursacht steigende Nachfrage noch extremere Preisspitzen, weil eine Steigerung oder Beibehaltung der Produktion nicht mehr möglich ist. Das Problem ist also nicht ein plötzliches Ende, sondern ein langsames Versiegen mit stark schwankenden Preisen. Nur wenn die Nachfrage parallel zum Angebot gesenkt werden kann, können Krisen vermieden werden.

C. Folgen der Abhängigkeit von Energieimporten

Zur Deckung des Bedarfs an **Primärenergie** ist Europa zur Zeit abhängig von Geschäftspartnern, die Kohle, Erdöl, Erdgas und Uran nach Europa liefern. Das führt zu sicherheitspolitischen Konsequenzen, denn nicht alle dieser Staaten sind Partner im freundschaftlichen Sinne. Unsere Politik opfert Prinzipien, um sich Sachzwängen zu beugen. Die Folgen des Fördermaximums in fossilen Brennstoffen wird diese Sachzwänge erheblich verschärfen, solange diese Abhängigkeit besteht. Im Extremfall stände die Europäische Politik vor der Wahl, sich an Verteilungskonflikten und der Sicherung von Transportwegen zu beteiligen, oder die Krisen der globalen Energiemärkte auf die Gesellschaft durchschlagen zu lassen. Dass diese Konflikte bereits seit Jahrzehnten begonnen haben, ist unübersehbar. Sicherheitspolitische Analysen des Strategischen Planungsamtes der Bundeswehr sehen seit 2015 eine Zunahme der Notwendigkeit eines militärischem Engagement im **MENA- Raum (Middle-East and North-Africa)** voraus [6]. Bei einer Beibehaltung des momentanen Energiesystems wird Europa stetig mehr Geld und Ressourcen in militärische Fähigkeiten und den Import von Rohstoffen ausgeben und einen Verlust an Wohlstand hinnehmen müssen. Die Folgen des kriegerischen Konfliktes um die Ukraine 2022 hat die Gefährlichkeit einer Abhängigkeit erheblich verschärft deutlich gemacht.

Dabei ist nicht nur die Verwendung fossiler Kohlenwasserstoffe als Brennstoff für den unmittelbaren Konsum ein Aspekt. Auch die Herstellung und die Installation von Systemen für erneuerbare Energien benötigen (noch) Energieträger oder Kunststoffe, die aus Erdgas oder Erdöl hergestellt werden. Eine wahrhafte Nachhaltigkeit unserer Energieversorgung und somit Gesellschaft als Ganzes ist erst möglich, wenn die Energiesysteme für erneuerbare Energien nur mit Hilfe der erneuerbaren Energien auch hergestellt werden können. Das EROEI erneuerbarer Quellen ist jedoch tendenziell geringer als das von fossilen Brennstoffen vor dem Fördermaximum.

Verbrauch an Primärenergie und Folgen der Abhängigkeit: Der gesamte über alle Verbrauchsarten (inkl. Fahrzeuge, Flugzeuge und Schiffe) aufsummierte Energiebedarf wird Primärenergie genannt und beläuft sich auf etwa 1,1 Milliarden Kilowattstunden pro Jahr [7]. Um diesen zu decken, ist Europa extrem abhängig von Energieimporten in Form von fossilen Brennstoffen und Uran. Nur Braunkohle wird nicht importiert, dieser Brennstoff hat aber nur einen kleinen Anteil am Primärenergieverbrauch. Alle fossilen Energieträger zusammen (inkl. Uran) bedienen unseren Bedarf zu ca. 85 % [7].

Eine wirtschaftliche Abhängigkeit kann schnell zu politischer Erpressbarkeit führen. Besonders Europa ist mit seiner starken Abhängigkeit von der Russischen Föderation bei gleichzeitigem Bestehen der NATO in einem strategischen Dilemma. Verteilungskonflikte um den Großteil der verbleibenden Erdölreserven werden vor allem im MENA-Raum (Middle-East and North-Africa) weiter zunehmen. Ob Europa die militärische Stärke aufbringen will, sich dort zu involvieren (z.B. um Embargos zu verhindern) ist fraglich. Dazu wäre ein Verteidigungshaushalt deutlich größer als die derzeitigen 50 Milliarden Euro (nur Deutschland) jährlich nötig. Auch ohne ein weiteres Engagement im MENA-Raum sind die volkswirtschaftlichen Kosten mit insgesamt 60 Milliarden Euro (Wert der Importe 2017) verlorener Wohlstand [8]. Die ausgegebenen Mittel fließen ins Ausland ab, während die Ausgaben für erneuerbare Energiesysteme bei geschickter Industriepolitik im Inland bleiben können.

D. Umweltprobleme der fossilen Energieträger

Nach Jahrzehnten, in denen das Problem des Fördermaximums als Theorie ausgeblendet wurde, zwingen die eintretenden Folgen des **Klimawandels** zu einem beschleunigten Umstieg in eine neue Energiewirtschaft.

Bisher führt die Abhängigkeit von fossilen Brennstoffen zu einem stetigen Strom von Treibhausgasen in die Atmosphäre, mit einer kontinuierlich steigenden Rate von 34 Milliarden Tonnen Kohlendioxid pro Jahr [9].

Der Anteil dieses **Treibhausgases** an der Atmosphäre ist auf über 0,415 Promille heute angestiegen und hat einen **Klimawandel** in Gang gesetzt, der nicht nur Temperaturen, sondern auch alle Wind- und Niederschlagsmuster weltweit verändert [10]. Es dauert ca. 30 Jahre, bis das Klima nach einer Änderung ein neues Gleichgewicht mit neuen Wettermustern findet [11]. Der heutige Wert von 0,415 Promille [10] wird seine volle Wirkung also erst 2052 entfalten.

In den letzten 5 Millionen Jahren natürlicher Klimaschwankungen änderte sich die Temperatur nie schneller als 1 °C pro 1000 Jahren und es war nie wärmer als 2 °C über dem Durchschnitt des 19ten Jahrhunderts [12]. Klimatische Schwankungen werden erst gefährlich, wenn Geschwindigkeit und Höhe der Änderung kombiniert zu groß werden, und Tier- und Pflanzenarten sich nicht schnell genug anpassen können, entweder eigenständig durch Evolution oder wie im Falle von Nutzpflanzen durch menschliche Manipulation.

Der Temperaturanstieg heute ist unnatürliche 1 °C pro 60 Jahre schnell [12]. Die Geschwindigkeit lässt sich nicht mehr verringern, die Größe der Änderung lässt sich noch begrenzen. Der Ausstoß von Treibhausgasen muss beendet, und die Energieversorgung auf neue Grundlagen gestellt werden. Alle dazu notwendigen Technologien sind entwickelt und verfügbar.

Treibhauseffekt und Klimawandel: Die Atmosphäre unseres Planeten enthält normalerweise einen Anteil von unter 0,3 Promille Kohlendioxid (300 parts-per-million). Im Gaszustand ist dieses Molekül transparent für sichtbares Licht, wie es von der Sonne kommt aber hoch absorbierend für Wärmestrahlung (für menschliche Augen unsichtbares Licht). Das Sonnenlicht erwärmt die Erde, die wiederum Wärmestrahlung aussendet. Würde diese Strahlung ungehindert in den Weltraum entweichen, wäre es auf unserem Planeten im Durchschnitt 32 °C kälter, als wir es gewohnt sind. Kohlendioxidmoleküle und andere Treibhausgase fangen einen Teil der Wärmestrahlung auf und senden wiederum einen Teil davon zurück zur Erdoberfläche. Diese Eigenschaft haben vor allem Gase, deren Moleküle aus mehreren ungleichen Elementen bestehen, wie Methan, Stickoxide aber auch Wasserdampf. In Gewächshäusern hat das Glasdach dieselbe Funktion, sichtbares Licht hereinzulassen, aber Wärmestrahlung nicht hinaus, daher der Name Treibhausgase. Mehr Kohlendioxid in der Luft verstärkt direkt den Treibhauseffekt. Die allein davon ausgelöste Erwärmung setzt dann noch mehr Treibhausgase (vor allem Wasserdampf aus den Ozeanen) frei, die den Effekt verstärken. Wasserdampf kondensiert bei einer Abkühlung aber auch wieder in die Ozeane zurück, daher wird es nicht als Antrieb des Treibhauseffektes mitgezählt. Kohlendioxid dagegen verbleibt für Jahrhunderte in der Atmosphäre [11].

E. Folgen des Klimawandels

Mit Klimasimulationen in Supercomputern lässt sich berechnen, bei welcher Menge von Kohlendioxid in der Atmosphäre (im CO₂-Budget gerechnet ab 2018) die Chancen 50/50 stehen, die Erhöhung der Durchschnittstemperatur auf unserem Planeten unter 2°C über dem Mittel des 19ten Jahrhunderts zu halten.

Diese Zahl (2 °C) hat ihren Ursprung in fragwürdigen Berechnungen über die Schäden im globalen Bruttosozialprodukt. Klimawissenschaftlern ist dieser Wert bereits viel zu hoch [13]. Aus wissenschaftlichen Berechnungen wurden 0,35 Promille Kohlendioxid in der Atmosphäre bereits als oberste Grenze angesetzt [14]. Ein Wert, der heute mit 0,415 Promille bereits deutlich überschritten ist.

Derzeit erleben wir die Folgen einer gemessenen Erwärmung von 1,2 °C über der genannten Referenz. Bei dem derzeitigen Trend wird die Temperatur 2050 auf 4 °C bis 5 °C ansteigen [15]. Auf den Kontinenten sind eine fast doppelt so große Erhöhung der Durchschnittswerte und stets extremer werdende Schwankungen zu erwarten, was ungekannte Hitzewellen, Kältewellen, Starkregen und Dürre und dadurch Ernteauffälle mit sich bringen würde. Kein Erdteil wird von den Folgen des Wandels verschont bleiben. Ganze Regionen werden destabilisiert und es kann zu Konflikten und Fluchtwellen kommen [16].

Aber wir haben noch auf den Zustand der Jahre nach 2050 Einfluss. Um laut dem Wissenschaftlichen Beirat der Bundesregierung Deutschlands verlässlich unter dem genannten Grenzwert von 2°C zu bleiben, darf die von der gesamten Menschheit in die Atmosphäre entlassene Kohlendioxidmenge im Zeitraum 2010-2050 das Budget von 750 Milliarden Tonnen nicht überschreiten [17]. Bei der für 2010-2020 gemittelten Emissionsrate von 32 Milliarden Tonnen pro Jahr verbleiben heute noch 430 Milliarden Tonnen; bei der heutigen Emissionsrate von 34 Milliarden Tonnen entspricht dies noch 12 Jahren. Gemäß dem Vertrag von Paris 2015 [18] hat auch die Bundesrepublik Deutschland in einem Klimaschutzgesetz zugesagt, unseren Anteil daran von ca. 2 %, d.h. 907 Millionen Tonnen Kohlendioxid-Äquivalent [7] (die Wirkung aller emittierten Treibhausgase in Kohlendioxid ausgedrückt) an dem weltweiten Ausstoß im Jahre 2015, auf höchstens 543 Millionen Tonnen im Jahre 2030 zu senken und spätestens 2050 Netto-Null zu erreichen. Nach dem Urteil des Bundesverfassungsgerichtes sind auch diese Maßnahmen unzureichend, so dass die Maßnahmen der Bundesregierung auf die Vorgaben der Europäischen Union verschärft werden [19]. Wir haben bereits den Ausstoß von 1200 Millionen Tonnen im Jahre 1990 gesenkt, und besonders die Energiewirtschaft hatte daran einen großen Anteil. Der Ausstoß in diesem Sektor ist zwischen 1990 und 2018 um 54% gefallen, während der Anteil der erneuerbaren an der Elektrizitätsversorgung auf fast 34% angestiegen ist [7].

Die Energiewende muss komplett erfolgt sein, bevor in Projektionen 30 Jahre in die Zukunft untragbare Folgen des Klimawandels unvermeidlich eintreten. Zweitens müssen die zur Transformation unserer Gesellschaft notwendigen Ressourcen vor einem problematischen Förderrückgang fossiler Kohlenwasserstoffe noch ausreichend zur Verfügung stehen, um die Wende vollenden zu können.

F. Herausforderung und Zeithorizont

Der Zeithorizont ist kritisch. Im Bezug auf das Fördermaximum bedeutet das: Erste Abschätzungen aus dem Ende des letzten Jahrhunderts ergaben, dass mit der Transformation der Wirtschaft ca. 20 Jahre vor dem Eintreten des Fördermaximums konventionellen Erdöls begonnen werden muss, wenn schwere wirtschaftliche Probleme vermieden werden sollen [20]. Dieser Zeitpunkt wurde bereits verpasst. Im Bezug auf den Klimawandel bedeutet dies: Der Kohlendioxidanstieg hat bereits die Marke von 0,35 Promille weit überschritten und das verbleibende Budget umfasst nur noch 12 Jahre bei heutiger Emissionsrate.; für Hoch-Emissionsländer wie Deutschland sogar nur 7 Jahre.

Die Loslösung von fossilen Brennstoffen muss jetzt mit erheblich mehr Druck durchgeführt werden, als ein früherer Start der Energiewende erlaubt hätte. Andererseits hat die in dieser Zeit erfolgte Entwicklung verbesserte Technologien zugänglich gemacht. Deren Anwendung kann Energiekosten senken und vor allem langfristig planbar machen.

Die Technologien für erneuerbare Energien müssen jedoch Anforderungen an EROEI, Versorgungssicherheit, Effizienz und (besonders für mobile Anwendungen) an **Energiedichte** genügen, um unsere moderne Gesellschaft versorgen zu können.

Die fossilen Brennstoffe, ganz besonders Erdöl, haben hier Größenordnung von 10 kWh/kg und 10 kWh/l geboten. Außerdem sind dem Konsum fossiler Energieträger (bis auf weiteres) nur konstruktive Grenzen gesetzt: die gebrauchsfertig gelagerte Menge muss nur groß genug sein und der damit betriebene Motor nur leistungsfähig genug.

An diesen (hohen) Erwartungen wird sich die Energieversorgung der Zukunft messen lassen müssen. Es wäre jedoch angesichts der Dringlichkeit der Situation fatal, noch länger auf eine ideale Lösung (z.B. einen Durchbruch bei der thermonuklearen Kernfusion) zu hoffen, die eventuell nicht rechtzeitig bereit steht.

Energiedichte: Wie viel Energie in einem Energieträger steckt, lässt sich in zwei Parametern beschreiben, der Volumenenergiedichte in kWh/liter und der Massenenergiedichte in kWh/kg. Die Energieeinheit kWh wird hier abweichend verwendet, SI-Einheit ist MegaJoule (3,6 MJ = 1,0 kWh).

Besonders für mobile Anwendungen sind größtmögliche Werte in beiden Kategorien angestrebt, was die bisherige Dominanz des Dieselkraftstoffes erklärt. Einige grobe Richtwerte für fossile Brennstoffe:

| | |
|-----------------|--|
| Diesel | 11 kWh/kg bzw. 9,4 kWh/l |
| Anthrazitkohle | 9,2kWh/kg bzw. 4,4kWh/l |
| Erdgas (200bar) | 15 kWh/kg bzw. 2,7kWh/l |

und für Kandidaten der Zukunft, wobei Erdgas als Gemisch von Methan bis Propan auch u.a. aus Wasserstoff (H₂) herstellbar ist:

| | |
|-------------------------|----------------------------------|
| Methanol | 5,5 kWh/kg bzw. 4,4 kWh/l |
| H ₂ (700bar) | 42 kWh/kg bzw. 1,6 kWh/l |
| Li-Ionen-Batterie | 0,2kWh/kg bzw. 0,3 kWh/l |

Flüssige Energieträger haben höhere Volumenenergiedichten als gasförmige, sind aber in der Herstellung verlustreicher. Seine extrem hohe Massenenergiedichte macht komprimierten Wasserstoff zum idealen stationären Speichermedium [21].

G. Möglichkeiten für das Energienetz der Zukunft

Erneuerbare Energiequellen liefern mehrheitlich elektrischen Strom, der in die Stromnetze eingespeist wird (Biogasanlagen u.ä. werden hier nicht betrachtet). Der Anteil erneuerbarer Energien im Stromnetz Deutschlands ist auf über 34,9 % (im Jahresmittel 2018) gestiegen, und hat bereits bewiesen, bei günstigem Wetter 100 % des Bedarfs an Elektrizität zeitweilig decken zu können.

Um alle Anforderungen und Rollen der fossilen Energieträger inklusive der Mobilität zu erfüllen, muss diese Energie gespeichert und in gasförmigen Energieträgern oder in synthetischen, flüssigen Kraftstoffen konzentriert werden. Für diese Energieträger der Zukunft sind technische Lösungen zur Herstellung und Speicherung verfügbar. Doch bei jedem der Schritte zur Erhöhung der Energiedichte und einem Wechsel des Energieträgers (von Strom zu Gas, von Gas zu Flüssigkeit) kommt es zu erheblichen Prozessverlusten. Diese Verluste müssen durch mehr Primärenergie am Eingang des Prozesses kompensiert werden.

Das bedeutet, dass die erneuerbaren Energien um einen Faktor 4 bis 5 ausgebaut werden müssen. Mit den geringsten Installationskosten von 1400 EUR/kW Spitzenleistung ist die Photovoltaik hier der günstigste Kandidat, und liefert in mindestens 20 Jahren Betriebszeit ca. 20.000 kWh pro kW installierte Spitzenleistung, zu einem Preis von unter 7 ct/kWh; dieser Preis fällt dabei um 25% mit jeder Verdopplung der Anlagengröße, somit ist Photovoltaik die preisgünstigste Energiequelle [22].

Wirkungsgrade und nötige power-to-X Prozessschritte [23]:

Power-to-gas (PtG)

| | | |
|----------------------|-----|---|
| Strom zu Wasserstoff | 90% | 1 |
| Strom zu Methan | 70% | 2 |

Power-to-Liquid (PtL)

| | | |
|-------------------|-----|---|
| Strom zu Methanol | 40% | 4 |
| Strom zu Diesel | 30% | 4 |

Zum Vergleich: nach wissenschaftlichen Berechnungen flossen 22 metrische Tonnen organisches Material in den Prozess der natürlichen Bildung von 1 Liter Erdöl ein [24]. Über die Energiebilanz dieses Millionen Jahre umspannenden Prozesses gibt es keine bekannte Schätzung. Dieser extrem niedrige Wirkungsgrad wird nicht beachtet, weil Erdöl fertig gefördert werden kann, dessen Herstellung aber auf die Natur externalisiert wurde.

Um jederzeit die Lücke zwischen Bedarf und Angebot decken zu können, benötigt ein solcher Ausbau große Speicherkapazitäten. Der Elektrizitätsbedarf in Deutschland beträgt derzeit etwa 500 Milliarden kWh pro Jahr, das entspricht einer Leistung von etwa 60 Milliarden Watt, die ohne jede Schwankung ein Jahr lang fließen. Erfahrungsgemäß sinkt der Bedarf nie unter 1/3 dieses Durchschnittswertes, d.h. 20 Milliarden Watt müssen durch Grundlastkraftwerke aufgebracht werden (Wasserkraft, Geothermie, o.ä.); 40 Milliarden Watt können aus unstillen Quellen stammen [25].

Da sich statistisch Wind und Solarenergie gut ergänzen, ist nur mit extrem geringer Wahrscheinlichkeit mit einem mehrtägigem totalen Ausfall zu rechnen. Wenn mit einem Totalausfall von mehreren Tagen geplant wird, sollte die Speicherkapazität in der Größenordnung von Milliarden kWh groß sein. Ende 2018 war eine Gesamtkapazität von 2,9 Millionen kWh installiert, davon 2,3 Millionen kWh verteilt auf ca. 300.000 Privathaushalte und Unternehmen, nur 68 Großspeicher mit 620.000 kWh Kapazität waren ins Netz integriert [26]. Die Speicherkapazität muss um einen Faktor von mindestens 100 ausgebaut werden.

Derzeit liegen die Kosten für den Aufbau von Speicherkapazität mit Batterien bei ca. 1000 EUR pro kWh. Diese Kosten auf die gesamten Energiepreise umzulegen, erhöht den Preis von photovoltaisch gewonnenen Strom um einige ct/kWh, abhängig von der gewünschten Autonomie/Autarkie [27]. Bei Forderung von nur 55% Autarkie ist für 4 kW-Anlagen, wie sie in Privathaushalten typisch sind, eine Amortisierung in 20 Jahren möglich [26]. Bei der Forschung an elektrochemischen Batterien sind deutliche Verbesserung abzusehen, aber nicht im Bereich des benötigten Faktors 3.

Daher sind die Speicherung großer Energiemengen in Form von Wasserstoffgas oder Methanol Ziel intensiver Forschung und Entwicklung. Gasförmiger Wasserstoff hat dabei in allen Aspekten der Verwendung einen hohen technologischen Reifegrad erreicht. Diesen Energieträger als Speicher zu verwenden, hat einen erheblichen Einstiegspreis aber eine günstige Skalierung. Außerdem haben Gase und Flüssigkeiten als Speichermedien für das Elektrizitätsnetz den Vorteil, dass sich dieselbe Anlage als Tankanlage für Fahrzeuge nutzen lässt.

Das Energienetz der Zukunft wird sich also durch eine verstärkte Kopplung aller Sektoren der Energiewirtschaft auszeichnen: Bereitstellung, Mobilität, Haushalte und Industrie werden miteinander verknüpft sein. Das koppelt jedoch die Schwankungen aus den Bereichen ebenfalls im gleichen Energienetz. Diese Schwankungen müssen dann von Energiespeichern ausgeglichen werden. Bis deren Kapazität groß genug ist, können Gaskraftwerke - zuerst mit Erdgas, später umgerüstet mit Wasserstoff betrieben - die Rolle einer dynamischen Reserve übernehmen [28].

Es werden also zwei Netze benötigt: das elektrische Leitungsnetz und das auf Wasserstoff umgestellte Gasnetz. Wasserstoff-Anlagen, die gleichzeitig als Speicher für beide Netze dienen, sind die Verbindungen beider Netze. Die Speichereinrichtungen sind dann auch die Punkte, an denen Netzschwankungen ausgeregelt werden können.

Es gibt weitere, technologisch simplere Speichermethoden, wie Gravitations-Speicher (höhergelegene Seen, mit Pumpwerken und Turbinen) oder thermische Speicher, diese sind jedoch vor allem für sehr große Anlagen sinnvoll, und haben längere Reaktionszeiten.

In jedem Fall wird die massenhafte Installation dieser Systeme die Preise weiter senken. Dadurch werden Inselsysteme (d.h. Produzent und Konsument zugleich zu sein, ein „Prosumer“) wirtschaftlich immer interessanter.

H. Mit Envenion zum Erfolg

Gesellschaft und Industrie sind bereits im Begriff, die Energiewende anzugehen, aber das Tempo muss deutlich beschleunigt werden. Der erste Schritt ist die weitestgehende Vermeidung von Energieverschwendung, um den Gesamt-Energiebedarf zu senken. Dazu sind eine ganze Reihe von Maßnahmen in allen Sektoren unserer Gesellschaft nötig, die jedoch nicht zum Betätigungsfeld unseres Unternehmens zählen und nur deshalb hier nicht diskutiert werden.

Für die kommenden Bemühungen braucht es eine konkrete Zielvorgabe und einen Zeitplan. Die Strategie der Bundesregierung spielt daher die zentrale Rolle, und hat sich u.a. im Sommer 2020 als Wasserstoffstrategie-Papier manifestiert [29]. Die gesamte Strategie umfasst:

- weitere Verteuerung von Kohlendioxid-Luftverschmutzungsrechten
- Subventionen von Wasserstoff Projekten als Anschubfinanzierung
- Ende der Stromerzeugung aus Uran und Kohle
- Ausbau der Stromnetzes mit Blick auf Kapazität und Steuerbarkeit
- Weitere Anschubfinanzierung für moderne Energietechniken
- Aufbau von Zwischenspeicherkapazitäten
- Fortsetzung der Förderung von Energie-Effizienzmaßnahmen

Zahlreiche Forschungsprojekte im akademischen Raum und in der Industrie haben ausreichend Technologien hervorgebracht, die alle Anforderungen erfüllen. Die Forschung und Entwicklung der Anlagen für erneuerbare Energien hat einen ausreichend hohen Reifegrad erreicht, und es stehen ausreichend marktreife Entwicklungen bereit, die den Umstieg auf das Energienetz der Zukunft jetzt möglich machen. Der Wasserstoffwirtschaft wird darin eine zentrale Rolle zugesprochen.

Batterie-elektrische Speicher sind mittlerweile Standard bei im privaten Umfeld neu-installierten Photovoltaik-Anlagen. Alle Automobilhersteller sind auf dem Weg, batterie-elektrische PKW anzubieten. Mit Wasserstoff betriebene PKW sind auf dem Markt; angesichts der Energie-Verluste bei der Herstellung von Wasserstoff ist diese Antriebsart bei niedrigem Energiebedarf aber nur sinnvoll bei speziellen Einsatzzwecken, z.B. Fahrzeugen, die hohe Bereitschaft benötigen (Rettungsdienste, Polizei, o.ä.) oder wenig Standzeiten haben (Taxis, Handlungsreisende usw.).

Im Bereich mobiler Anwendungen mit hohem Energiebedarf gibt es kommerzielle Lösungen mit Hybrid-Antrieben aus Elektromotoren, Batterien und Wasserstoffbetriebenen Brennstoffzellen, oder Wasserstoffverbrennern. Marktreif sind bereits 40 Tonnen-LKW (Toyota, Daimler, Volvo), Traktoren (New-Holland) und Raupenbagger (JCB). Verschiedene Unternehmen bieten bereits komplette Systeme für Energiespeicherung mit Wasserstoffgas als Speichermedium an. Solche Anlagen können für einzelne Wohnhäuser, Mietwohnungsblöcke, Betriebe, landwirtschaftliche Höfe oder ganze Energie-Parks optimiert ausgelegt werden. Doch die Rentabilität ist derzeit noch nur knapp zu erreichen. Das Optimierungspotential ist noch groß und Preise werden sinken. Aber der Aufbau des Energienetzes der Zukunft wird Jahrzehnte dauern und muss jetzt beginnen. Der Markt ist voller Neuerungen, und die interessierten Kunden stehen vor etwas völlig neuem.

Wir von Envenion haben uns verschrieben, allen Interessenten beim Übergang in das Energienetz der Zukunft zur Seite zu stehen um die für unsere Kunden optimale Lösung noch heute zu finden.

I. Rolle von Envenion in der Energiewende

Envenion denkt vom Auftraggeber her und damit steht die individuelle Lösung im Vordergrund. Damit eine von Envenion erarbeitete und vorgeschlagene Energieversorgungslösung innovativ umgesetzt werden kann, sind konkrete technische Lösungen nötig. Envenion bedient sich dabei aus einem Technik-Pool, der aus den einzelnen Systempartnern besteht (Envenion-Systempartner-Pool). Envenion Systempartner sind einerseits Dienstleister und andererseits Lieferanten von innovativen technischen Lösungen. Envenion bekennt sich zu diesen Systempartnern und macht dies bei Kunden transparent.

Envenion agiert im Markt als (Energieversorgungs-)Systemdesigner und empfiehlt aus einem Pool von partnerschaftlich mit Envenion verbundenen Unternehmen dem Kunden gegenüber die für ihn beste technische Lösung. Die Systempartner profitieren von regelmäßigen Projektbeteiligungen aufgrund der Empfehlung seitens Envenion.

Envenion ist somit kein direkter Handelsvertreter eines Unternehmens, sondern bedient sich aus dem Pool abgeklärter und aus Sicht Envenion empfehlenswerten technischen Produkten/Lösungen (Envenion-Systempartner-Pool). Jede Versorgungssituation ist individuell und deshalb sind häufig unterschiedliche technische Lösungen vorzuschlagen. Dies ist nur mit einem Strauß von technischen Produkten abdeckbar. Da sich der Pool an technischen Lösungen (Envenion-Systempartner-Pool) aufgrund von neuen Innovationen ändern kann, obliegt es Envenion, welche Produkte in welchen Projekten empfohlen werden.

Unser Geschäftsmodell

Envenion erarbeitet treuhänderisch und technologie-offen für seine Kunden innovative, maßgeschneiderte Lösungen für die jeweilige energetische Situation. Jedes Angebot wird individuell unter Wahrung der Vertraulichkeit erstellt, mit vollem Kundenservice und Diskretion. Die Bearbeitung erfolgt in der Regel in fünf Phasen:

1. Situationsanalyse

Zu Beginn eines jeden Projektes steht eine Bestandsaufnahme der Ist-Situation der Gebäude-, Nutzungs- und Energieversorgungssituation, da jedes Projekt in seiner Kombination individuell ist.

2. Lösungsfindung

Nach klarer Bedarfsermittlung werden geeignete Lösungsvarianten für die jeweilige Versorgungssituation erarbeitet und verglichen. Am Ende steht eine klare Empfehlung.

3. Konzeptkonkretisierung

Nach der Definition des Konzepts wird mit der konkreten Umsetzungsplanung begonnen. Dazu gehören die technische Dimensionierung, die Erstellung von Zeitplänen (einschließlich Genehmigungen) und die Vorbereitung der Baustelle bis zur Inbetriebnahme.

4. Unterstützung bei der Umsetzung

Der Bau und die Erstinbetriebnahme neuer Anlagen sind besondere Momente. Envenion begleitet die Kunden dabei!

5. Betriebsunterstützung

Um den langfristigen Erfolg zu sichern, muss zum einen der Betrieb von Anlagen in definierten Zeitabständen und zum anderen das Zusammenspiel der Technik mit dem Gebäude und dessen Nutzung überprüft werden.

Die Geschäftsfelder der Envenion-Gruppe:

Systemberatung:

Wir bieten ganzheitliche Beratung in allen fünf Systembausteinen, um maßgeschneiderte Lösungen mit Komponenten aus dem Envenion-Systempartner-Pool zu finden.

Innovationsvertrieb:

Zu jedem Systembaustein sind verschiedene energietechnische Lösungen aus dem Envenion-Technikpool zugeordnet. Envenion verfolgt die Grundregel, dass in jedem Bereich möglichst auf zwei innovative, technische Lösungen ein Zugriff seitens Envenion besteht. Bei jeder Vermittlung bzw. dem Verkauf ist Envenion mit einer Provision beteiligt.

Finanzvermittler:

Einzelne Systempartner sind Unternehmen, die sich noch entwickeln. Für diese sind in aller Regel finanzielle Mittel nötig. Envenion bietet in Form einer Dienstleistung die Vermittlung von Investoren oder Geschäftspartnern an. Kommt eine Zusammenarbeit mit Hilfe von Envenion zustande, steht Envenion eine Provision von der Finanzierungssumme zu.

(Visionäre) Sonder-Projekte:

Envenion verfolgt zusätzlich verschiedene visionäre Projekte, wie beispielsweise die Entwicklung eines innovativen Versorgungskonzepts eines neuen Stadtteils.

Öffentlichkeitsarbeit:

Envenion übernimmt im Kundenauftrag Arbeiten im Bereich Öffentlichkeitsarbeit, wie Erstellen von Handbüchern, Leitfäden, Fachartikel, Artikel, Vorträge usw.

Literaturverzeichnis

- [1] Brown et al. „Energetic limits to economic growth“ BioScience, Vol. 61 No.1: 19-26 (2011)
- [2] Hall et al. „EROI of different fuels and the implications for society“ Energy Policy Vol.64: 141–152 (2014)
- [3] Lambert et al. „Energy, EROI and quality of life“, Energy Policy Vol.64: 153–167 (2014)
- [4] Brockway et al. „Estimation of global final-stage energy-return-on-investment for fossil fuels with comparison to renewable energy sources“ Nature Energy Vol.4: 612-621 (2019)
- [5] BP „Statistical Review of World Energy 2020“ <https://www.bp.com/content/dam/bp/business-sites/en/global/corporate/pdfs/energy-economics/statistical-review/bp-stats-review-2020-full-report.pdf> (abgerufen 11.5.2021)
- [6] Planungsamt der Bundeswehr „Teilstudie 1: peak-oil, sicherheitspolitische Implikationen knapper Ressourcen“, <https://www.bundeswehr.de/resource/blob/140546/650f85c4df8085f948bdca8c9bac04c7/peakoil-data.pdf> (2012) (abgerufen 11.5.2021)
- [7] Kemmler et al. „Energiewirtschaftliche Projektionen und Folgeabschätzungen 2030/2050“ (2020) https://www.bmw.de/Redaktion/DE/Publikationen/Wirtschaft/klimagutachten.pdf?__blob=publicationFile&v=6 (abgerufen 11.5.2021)
- [8] Bundesumweltministerium „Primärenergie und Importe“ (2021) <https://www.umweltbundesamt.de/daten/energie/primaerenergiegewinnung-importe> (abgerufen 12.05.2021)
- [9] Global Carbon Project <https://www.globalcarbonproject.org/> und Referenzen darin (abgerufen 11.5.2021)
- [10] NASA Climate at NASA's Jet Propulsion Laboratory <https://climate.nasa.gov/evidence/> (abgerufen 11.5.2021)
- [11] C.D.Schönwiese „Klimatologie“ ISBN 3825253872 (2020)
- [12] Hansen "Climate sensitivity, sea level and atmospheric carbon dioxide" Phil Trans R Soc A 371: 20120294 (2013)
- [13] Hickel „The Nobel-prize for furthering the catastrophe“ <https://foreignpolicy.com/2018/12/06/the-nobel-prize-for-climate-catastrophe/> (abgerufen 11.05.2021)
- [14] Hansen et al. „Target Atmospheric CO₂, where should humanity aim“ Open Atm Sci Journal, 2008, 2, 217-231 (2008)
- [15] DuPont et al. „Warming assessment of the bottom-up Paris Agreement emissions pledges“ Nature Comm vol.9:4810 (2018)
- [16] Planungsamt der Bundeswehr „Klimafolgen im Kontext: Implikationen von Sicherheit und Stabilität im Nahen Osten und Afrika“ (2012) <https://www.bundeswehr.de/resource/blob/140552/823d868570c72b0b76b28440c4e293f1/klimafolgen-data.pdf> (abgerufen 11.05.2021)
- [17] Wissenschaftlicher Beirat der Bundesregierung „Der WBGU Budgetansatz“ https://www.wbgu.de/fileadmin/user_upload/wbgu/publikationen/factsheets/fs3_2009/wbgu_factsheet_3.pdf (2009) (abgerufen 12.05.2021)
- [18] United Nations Framework Convention on Climate Change „Paris accord 2015“ https://unfccc.int/sites/default/files/english_paris_agreement.pdf (abgerufen 14.5.2021)
- [19] Der Spiegel „Deutschland macht beim Klima, was Brüssel fordert“ (2021) <https://www.spiegel.de/wissenschaft/mensch/petersberger-klimadialog-deutschland-macht-beim-klima-was-bruessel-fordert-a-ba587ad3-db56-48de-a59c-07e59632b3b5> (abgerufen 17.05.2021)
- [20] Hirsch et.al. „Peaking of world oil production: Impacts, mitigation, & risk management“ Report No. DOE/NETL-IR-2005-093; NETL-TPR-2319; OSTI ID 939271. Department of Energy, United States (2005), doi:10.2172/939271
- [21] Energiedichten: verschiedene Quellen, Zusammenfassung https://en.wikipedia.org/wiki/Energy_density (abgerufen 11.5.2021)
- [22] Lazard, „Levelized Cost of Energy and Levelized Cost of Storage“ <https://www.lazard.com/perspective/lcoe2020> (abgerufen 11.5.2021)
- [23] D.H.König „Techno-ökonomische Prozessbewertung der Herstellung synthetischen Flugturbinentreibstoffes aus CO₂ und H₂“ Promotionschrift, Institut für Energiespeicherung der Universität Stuttgart, 2016
- [24] Dukes „Burning buried sunshine: human consumption of ancient solar energy“ Climatic Change Vol. 61(1-2): 31-44 (2003)
- [25] Fraunhofer ISE, Energy Charts <https://energy-charts.info/?l=de&c=DE> (abgerufen 11.5.2021)
- [26] Bundesverband Speichertechnologien „Speicher Report 2018“ https://www.bves.de/wp-content/uploads/2018/07/Speichermonitoring_Jahresbericht_2018_ISEA_RWTH_Aachen.pdf (2018) (abgerufen 16.5.2021)
- [27] Hochschule für Technik und Wirtschaft Berlin, Unabhängigkeitsrechner <https://pvspeicher.htw-berlin.de/unabhaengigkeitsrechner/> (abgerufen 17.05.2021)
- [28] Klima-Allianz „Die künftige Rolle von Gaskraftwerken in Deutschland“ http://www.arrhenius.de/uploads/media/Klima-Allianz_Studie_Gaskraftwerke_Okt2011.pdf (2011)
- [29] Bundesministerium für Wirtschaft und Energie „Die nationale Wasserstoffstrategie“, 2020