

# Regenerative Energieerzeugung – eine Übersicht

## Stand der Technik, Probleme und deren Beseitigung

### Zusammenfassung - Abstracts

In diesem Vortrag soll ein Überblick gegeben werden über den derzeitigen Stand der Technik bei der Erzeugung von regenerativen Energien. Da dieses Thema so umfangreich ist:

- (1) [Einleitung](#)
- (2) [Photovoltaik](#)
- (3) [Windenergie, Solarthermie, Wasserkraft und Brennstoffzellen](#)
- (4) [Geothermie](#)
- (5) [Speichertechnologie](#)
- (6) [Bioenergie](#)

kann nur ein allgemeiner Überblick gegeben werden – allerdings mit einem Schwerpunkt auf die zukunftssträchtige Algen-Technologie innerhalb des Bereichs Bioenergie.

Ein Aufruf zur Etablierung einer völlig neuen Branche, z.B. „Verfahren und Anlagen für die CO<sub>2</sub>-Kreislauf-Wirtschaft“ innerhalb der Regenerativen Energien rundet den Vortragsabend ab.

## **Einleitung**

Es ist unumstritten, dass kein Weg mehr an der umfassenden Nutzung regenerativer Energien vorbei führt, wenn wir nicht die Existenz der gesamten Menschheit unseres Planeten zur Disposition stellen wollen.

Die im Zusammenhang mit dem weiteren CO<sub>2</sub>-Ausstoß prognostizierten Weltuntergangs-Szenarien mit einem Meeresspiegel-Anstieg um mehrere Meter können nicht mehr ignoriert werden. Bereits jetzt konnten Wissenschaftler feststellen, dass im Laufe der letzten 20 Jahre der mittlere Meeresspiegel vor New York um 20 Zentimeter angestiegen ist – ein Fakt, der von den politisch Verantwortlichen geflissentlich immer noch ignoriert wird.

Im Extremfall, wenn alles Eis der Polkappen in der Arktis und der Antarktis, der Eispanzer Grönlands und weltweit das Eis der Gletscher geschmolzen sein wird, würde sich der Meeresspiegel weltweit um ca. 70m (!) anheben.

Dann würde auch Berlin vollständig unter Wasser stehen!

In der erdgeschichtlichen Entwicklung unseres Planeten sind solche Epochen extremer Erderwärmung nichts Außergewöhnliches, nur dass es damals noch keine menschliche Zivilisation mit unzähligen Ansiedlungen in unmittelbarer Meeresnähe gab.

Um den sonst unvermeidlichen Untergang der Menschheit als technisch entwickelte Zivilisation zu verhindern, ist ein umgehendes Umdenken erforderlich - weg von der "Verheizung" fossiler Energieträger hin zu einer regenerativen Energiewirtschaft, die nicht nur der Wind- und Photovoltaik-Energiegewinnung den Vorrang gibt, sondern auch hin zu einer CO<sub>2</sub>-Kreislaufwirtschaft, um denjenigen Rechnung zu tragen, wo die herkömmliche regenerative Energienutzung unzureichend, unwirtschaftlich oder technisch kaum lösbar ist.

Nachdem in Deutschland in Folge von Tschernobyl und nun der Fukushima-Katastrophe der Ausstieg aus der Atomenergie-Gewinnung beschlossen wurde, diese an und für sich richtige Konsequenz aber weltweit kaum Unterstützung fand, stehen wir nun angesichts der Klima-Veränderungen in einem echten Dilemma. Einerseits mehr und mehr Atom-Kraftwerke abschalten und andererseits auch die herkömmlichen Kraftwerke auf Basis fossiler Energieträger immer weiter herunterfahren. Wo soll dann aber die nun fehlende Elektroenergie herkommen?

Bei allen Sparmaßnahmen wird es in einem hoch industrialisierten Land wie Deutschland kaum möglich sein, den Verbrauch von Elektroenergie merklich zu senken – im Gegenteil,

solange die Wachstumsvorgaben der Wirtschaft die Lebensumstände der Gesellschaft diktieren, wird es immer einen Anstieg des Verbrauchs geben.

Und das betrifft nicht nur die Elektroenergie – obwohl man damit einen Großteil des Energieverbrauchs abdecken könnte, was aber nicht in jedem Fall auch wirtschaftlich sein muss.

Im Vortrag sollen folgende Aspekte behandelt werden:

- Photovoltaik
- Windenergie, Thermie und Wasserkraft
- Geothermie
- Speichertechnologie
- Bioenergie

Infolge dieses umfangreichen Themas kann nur "an der Oberfläche gekratzt" werden, dennoch soll aber der Versuch gewagt werden, einen umfassenden Überblick zu den anstehenden Problemen zu geben.

Zur Bioenergie sei auch noch mal auf meine Veröffentlichung hingewiesen:

<http://www.biomasse-nutzung.de/energie-algen/>

bzw. in dessen Weiterführung

<http://www.biomasse-nutzung.de/algenkultivierung-algenforschung-wildau/>

## Photovoltaik (PV)

Energiegewinnung unter Ausnutzung des photovoltaischen Effekts ist nach der Wind- und Wasserkraftnutzung der jüngste Zweig regenerativer Energiewirtschaft.

Die physikalischen Grundlagen sind schon sehr lange bekannt. Bereits im 19. Jahrhundert wurde der nach dem deutschen Physiker Wilhelm Hallwachs ( **Bild 2** ) - einem Schüler von Heinrich Hertz - benannte Effekt von ihnen näher untersucht und auch von vielen anderen bekannten Wissenschaftlern der damaligen Zeit erforscht, so z.B. auch von Albert Einstein. Die Anwendbarkeit dieses Effekts zur großtechnischen Erzeugung von Elektroenergie ließ aber noch lange auf sich warten, da dafür die technologischen Grundlagen und auch weitergehende Erkenntnisse, insbesondere in der Halbleitertechnik noch fehlten. Erst nach dem 2. Weltkrieg mit der stürmischen Entwicklung der Halbleitertechnik einhergehend und später dann durch die Raumfahrt forciert wurde auch die Photovoltaik für die „Allgemeine Nutzung“ interessant. Trotzdem bedurfte es infolge der immens hohen Anfangskosten einer so genannten „Anschubfinanzierung“ durch staatliche Förderprogramme. Basierend darauf entwickelte sich in Deutschland eine regelrechte PV-Industrie – eine Branche aus Komponenten-Herstellern von PV-Zellen und –Modulen, Anschluss- und Betriebsgeräten, sowie Anlagen-Errichtern, die solche PV-Anlagen auf Hausdächern ( **Bild 3** ) oder auf die grüne Wiese ( **Bild 4** ) bauten.

Zunächst wurden das notwendige Halbleitermaterial - in der Regel wurde anfangs einkristallines Silizium ( **Bild 5** ) für die Herstellung der PV-Zellen verwendet - noch aus dem Reservoir für die Halbleiterbauelemente-Hersteller entnommen. Das erwies sich aber - vor allem auch wegen des explosionsartig ansteigenden Bedarfs, als zunehmend zu teuer. Außerdem gelang es dann auch etwas später aus dem wesentlich billiger herzustellenden polykristallinen Silizium ( **Bild 6** ) PV-Zellen ( **Bild 7** ) mit vergleichbaren Eigenschaften herzustellen. Die kompliziert-teure Herstellungstechnologie der Si-Zellen und deren Konfektionierung in PV-Modulen initiierte auch das Verfahren „Dünnschichttechnik“ zur Herstellung von PV-Modulen ( **Bild 8** ). Hierbei müssen keine Solarzellen aus Silizium hergestellt werden, sondern das Silizium wird direkt auf die Modulscheibe in einer extrem dünnen Schicht aufgebracht. Verschiedene andere Beschichtungen komplettieren dann noch das System. Was so einfach aussieht und großtechnisch auch einfach hergestellt werden kann, hat leider den Nachteil, dass der bisher erzielte Wirkungsgrad bei weitem noch nicht an den einer Solarzelle herankommt. Mit anderen Halbleitermaterialien (z.B. CdTe oder chemischen Komplexverbindungen aus Kupfer, Indium, Gallium, Schwefel und Selen) lassen sich zwar

geringfügig bessere Werte für den Wirkungsgrad erreichen, aber infolge materialbedingter und Langzeitprobleme konnten die sich am Markt nicht durchsetzen.

Infolge der hohen Herstellungskosten beschränkte sich die Photovoltaik anfangs auf Nischen-Anwendungen unter besonderen Bedingungen, wie z.B. im Weltraum und für Inselanlagen, die ansonsten elektrotechnisch nicht erschlossen werden konnten. Erst als dann 1990 in Deutschland mit dem so genannten „1000-Dächer-Programm“ und dem sich daran anschließenden „100.000-Dächer-Programm“ erhebliche staatliche Unterstützung zur Verfügung stand, erfuhr die PV-Branche eine sichtliche Belebung. In einem regelrechten Boom führte das jedoch erst mit der Einführung des „Erneuerbaren Energiegesetzes“ (EEG) im Jahre 2000.

Aus umweltpolitischer Sicht kann dieses Gesetz als voller Erfolg angesehen werden, aus wirtschaftlicher Sicht wird es je nach Betrachtungsweise bis heute kontrovers diskutiert. Dabei war der damalige Ansatz für jedermann einleuchtend nachvollziehbar und akzeptabel. Mit einer erhöhten „Einspeisevergütung“ gegenüber den Verbrauchsentgelten sollten den potentiellen „Investoren“ = PV-Anlagen-Eigentümer ein Anreiz gegeben werden, sich solche Anlagen zu zulegen und die erzeugte Energie in das öffentliche Stromnetz einzuspeisen. Die Kosten für die erhöhte Einspeisevergütung sollten auf alle Verbraucher umgelegt werden, was wiederum eine Kostensteigerung der Stromentgelte von nur 1 bis 2 Pfennigen pro Kilowattstunde bedeutete und somit für jeden Verbraucher eigentlich akzeptabel gewesen ist. Eine direkte staatliche Subventionierung, wie bei den vorangegangenen Förderprogrammen gab es dann nicht mehr.

Obwohl vergleichsweise zu den durch die Strom-Konzerne verursachten jährlichen Steigerungsraten der Kosten für Elektroenergie die zusätzliche Belastung für Privat-Verbraucher anfangs nur geringfügig war, konnten die „großen“ Stromverbraucher aus der Industrie nicht umhin, über ihre Lobbyisten Ausnahmeregelungen in das EEG zu drücken. Die anfängliche Liste von ca. 100 Unternehmen, die von der Umlage befreit waren, bzw. nur mit reduzierten Sätzen bedacht wurden, ist mittlerweile auf über 2000 angewachsen. Die damit einhergehende Disproportion der Belastung privater Haushalten gegenüber der privilegierten Industrie ist seit Jahren Gegenstand heftiger Diskussionen.

Obwohl die Einspeisevergütung einer jährlichen Degression unterliegt, ist sie jedoch infolge ihrer garantierten Höhe zum Zeitpunkt der Anmeldung über die gesamte Laufzeit von 20 Jahren nach wie vor für Investoren sehr lukrativ.

Mit zunehmenden Kosten des Strombezuges aus öffentlichen Netzen und fallenden Erzeugerkosten bei PV-Anlagen (auf 20 Jahre umgelegte Anlagenkosten) wurde es ab etwa 2008 lukrativ den mit einer PV-Anlage erzeugten Strom auch selbst zu verbrauchen. Bis dahin war es vorgeschrieben, den gesamten durch die PV-Anlage erzeugten Strom in das öffentliche Netz einzuspeisen. Da der Ausbau der öffentlichen Netze durch die Stromkonzerne hinter den Notwendigkeiten bedingt durch die dezentrale Stromerzeugung verschiedenster erneuerbarer Energie-Anlagen hinterherhinkten und auch heute noch nicht den notwendigen Stand erreicht haben, wurde sogar durch zeitweise Subventionierung des eigenverbrauchten Stromes diese Variante forciert.

Obwohl es diese Subventionen heute nicht mehr gibt, ist es nicht nur für den Privat-Haushalt angesichts immer weiter steigender Strompreise und immer günstiger werdender Erstehungskosten bei PV-Anlagen mit vorrangiger Eigenversorgung eine immer interessanter werdende Alternative, der Stromkostenspirale zu entkommen.

Nachteilig bei PV-Anlagen ist natürlich einerseits – und das auch heute noch, dass Strom nur am Tage erzeugt werden kann, bzw. wenn die Sonne scheint. Verbraucher zu anderen Tageszeiten können direkt damit nicht bedient werden. Dazu bedarf es zusätzlicher Speichermöglichkeiten, die die überschüssige Energie im Tagesverlauf aufnehmen können und in den Zeiten, wo die PV-Anlage nicht läuft, oder zu wenig Strom liefert, wieder zurückspeist.

Andererseits gibt es auch Tageszeiten – besonders in der ertragreichen Mittagszeit im Sommer, wo die erzeugte Elektroenergie nicht mehr vom Netz aufgenommen werden kann, weil es partiell zu wenig Verbrauch gibt. Dann muss der Wechselrichter vom Netz genommen werden und die erzeugte Energie geht verloren. Das ist natürlich sehr unzuweckmäßig und nur bei großen Anlagen, wo die Abschaltung oder Abregelung vom Netzbetreiber vorgenommen werden kann, wird dann auch die im EEG vorgesehene Ausgleichszahlung wirksam.

Ansonsten zählt nur das, was der Einspeisezähler anzeigt.

Bereits 2006/2007 gab es daher Vorstellungen aus der Anlagen- und Komponenten herstellenden PV-Branche durch einen Wechselrichter-internen Speicher derartige Überschüsse auf andere Einspeise-Zeiten zu verlagern. Die dafür notwendigen zusätzlichen Aufwendungen müssten natürlich im Interesse beider Seiten kostenmäßig verteilt werden. Dazu waren jedoch die Netzbetreiber überhaupt nicht bereit. Deren Tenor lautete: „Solange uns der Gesetzgeber da nichts vorschreibt, werden wir in dieser Hinsicht auch nichts unternehmen.“

Derartige Einrichtungen sind dann erst mit der Novellierung der EEG 2008 in den heutigen PV-Anlagen mit Anschlussmöglichkeit zum Eigenverbrauch integriert.

Wir kommen im Abschnitt „**Speichertechnologie**“ noch darauf zu sprechen.

Die zu Beginn der Wirksamkeit des EEG geführte Diskussion über die viel zu hohen Kosten der Photovoltaik im Vergleich zu anderen erneuerbaren Energieerzeugern war sicherlich berechtigt, aber die damit auch verbundene Akzeptanz ließen einen derartigen Preisverfall bei den PV-Anlagen entstehen, dass bereits 2008 einige großen Anbieter die Erstehungskosten für eine Kilowattstunde PV-Strom in den Bereich drücken konnten, dass dieser mit den damaligen Netzstrom-Kosten konkurrieren konnte.

Die heute immer noch geführte Diskussion über das gleiche Thema ist eigentlich absurd, denn neue Kraftwerke auf Basis fossiler Energieträger würden den einleitend genannten Notwendigkeiten widersprechen und wenn sogar für die „Alternative Kernkraftwerk“ neuerdings auch wieder Subventionen verlangt werden, spricht das doch Bände.

Beim Thema „billiger Atomstrom“ aus bestehenden Kernkraftwerken sollte nicht vergessen werden, dass auch diese nur mit hohen staatlichen Subventionen überhaupt erst errichtet werden konnten. Dazu gab es in den 1950er Jahren in der Bundesrepublik Deutschland noch ein „Atomministerium“ unter Franz-Josef-Strauss. Außerdem werden dann auch immer wieder die Folgekosten ungeklärter Entsorgung des unvermeidlich anfallenden „Atom-Mülls“ aus Kernkraftwerken geflissentlich unterschlagen.

Zum Schluss dieses Abschnitts noch einige Bemerkungen zur Bedeutung des Photovoltaik aus gesamtwirtschaftlicher Sicht unter umweltpolitischen Bedingungen.

Der anfänglich in den 1990er Jahren minimale Anteil der Stromerzeugung durch PV-Anlagen von weit weniger als 1% hat sich bis heute auf fast 8% erhöht und wenn man alle anderen erneuerbaren Energieerzeuger dazu nimmt, deckt das Aufkommen erneuerbarer Energien immerhin schon die Größenordnung von ca. 20% des gesamten Stromverbrauchs in Deutschland ab.

# Windenergie, Solarthermie, Wasserkraft und Brennstoffzellen

## *Windenergie*

Die Energieerzeugung aus der Luftströmung ist dank der spezifischen Eigenarten unseres Planeten schon seit dem Altertum bekannt und wurde seit dem vorrangig für die Fortbewegung von Schiffen eingesetzt. Mit den aus Holland bekannten Windmühlen wurde die Windenergie dann erstmals auch in mechanische Energie umgewandelt, welche jedoch nicht nur zum Mahlen von Korn, sondern auch z.B. zum Antrieb von Wasserpumpen Verwendung fand. Das unter dem Meeresspiegel liegende Land bedurfte – und das auch heute noch - eines andauernden Abpumpens von eindringendem Wasser.

Mit der Entdeckung der Elektrizität und der Erfindung des Dynamos durch Werner von Siemens ( **Bild 9** ) war bereits 1866 eigentlich der Weg frei auch den Dynamo für die Erzeugung von Elektroenergie aus Windkraft einzusetzen. Wirtschaftlich Aspekte verhinderten das jedoch, weil das Verheizen von billiger einheimischer Kohle, dem daraus gewonnenen Dampf, welcher in Großkraftwerken die damals üblich Dampfmaschinen und bis heute noch die Turbinen antreibt, allemal wirtschaftlicher war.

Erst unter den Auswirkungen der großen Ölkrise und steigendem Umweltbewusstsein in den 1970er Jahren entsann man sich den Möglichkeiten alternativer Energieerzeugung durch Windenergie. Großzügig geförderte Forschungsprojekte wurden losgetreten, deren Erfolge aber oft weit hinter den Erwartungen zurückblieben. Es sei hier nur an das millionenschwere Desaster mit dem „Growian“ erinnert ( **Bild 10** ) [2]. Trotzdem vollzog sich eine stetig erfolgreichere Entwicklung - auch in Deutschland, obgleich hier im Vergleich zu anderen europäischen Ländern, wie z.B. Dänemark, der rechtzeitige Start ins Zeitalter der erneuerbaren Energiegewinnung aus Windkraft regelrecht verschlafen wurde.

Die Einführung des bereits genannten EEG im Jahre 2000 brachte dann allerdings auch bei der Windenergie „die Wende“. Obwohl die anfänglichen Einspeisesätze bei Weitem nicht so hoch wie bei der Photovoltaik waren, erwies sich dieses Gesetz auch bei der Windenergie als regelrechter „Motor“ zum Antrieb einer völlig neuen Branche. Die hauptsächlich in Dänemark beheimateten „Global-Player“ der Windrad-Hersteller bekamen recht bald ernsthafte Konkurrenz aus Deutschland.

Während der „Growian“ mit einer Leistung von 3 MW ein 340-Tonnen-Ungetüm in 100m Höhe war, aber infolge komplizierter Mechanik mit Getriebe, Stirnrad- und zwei Planetenradstufen den Witterungsunbilden nicht die erforderliche Stabilität entgegensetzen konnte, geht der Trend moderne Windkraftanlagen heutzutage in den Leistungsbereich bis zu

10 MW. Derartige Anlagen erfordern eine Höhe von weit über 100m und infolge der Größe der Rotorblätter ist der Aufbau auch nur noch an gut zugänglichen Standorten möglich.

Bei Standorten für Windkraftanlagen unterscheidet man in solche auf Land und die mitten im Meer gebauten, welche auch „Off-Shore-Anlagen“ genannt werden.

In Deutschland existieren z.Zt. in allen Bundesländern schon viele Windkraftanlagen, die standortbedingt mit mehr oder weniger Erfolg betrieben werden. Die anfängliche Akzeptanz und Euphorie ist bei vielen Anwohnern nun in Ablehnung und Protest umgeschlagen. Da spielen „Schlagschatten“ und Windgeräusche genau so eine unliebsame Rolle, wie z.B. auch der Umwelt- und Tierschutz. Obwohl letzteres wohl stark übertrieben wird – über die durch den Luftverkehr getöteten Vögel wird z.B. nicht gesprochen, waren doch schon solche gerichtsanhängigen Argumente Anlass Baugenehmigungen für eine Windkraftanlagen zu versagen.

Auch technische Probleme sind beim Anschluss einer Windkraftanlage nicht ohne!

Die im Megawatt-Bereich arbeitenden Anlagen können in der Regel nur an

Hochspannungsleitungen 110kV angeschlossen werden. An Mittelspannungsnetze mit 1 bis

35kV ist das nur bei kleineren Anlagen und auch nur dann möglich, wenn potenzielle

Verbraucher entsprechender Leistungsgröße am gleichen Netz hängen. Ganz besondere

Probleme macht es dann noch, wenn große, so genannte „Windparks“ eingespeist werden

sollen und diese sich noch dazu weit draußen auf dem Meer befinden ( **Bild 11** ) . Außer den

erdverlegten Hochspannungskabeln im Meeresbereich, die teuer verlegt und verlustreich im

Betrieb sind, werden des Öfteren noch zusätzliche Hochspannungsleitungen an Land benötigt,

um die Energie an die Hauptverbraucher transportieren zu können. Sind die Windkraftanlagen

sehr weit vom Land weg (<100km), dann ist es wegen der unwirtschaftlichen Kabelverluste

sogar besser zunächst den erzeugten Drehstrom in Gleichstrom umzuwandeln, um den dann

wesentlich verlustärmer über Gleichstromkabel an Land zu transportieren, anschließend wieder

in Drehstrom zurückzuwandeln, um dann erst in das Hochspannungsnetz einzuspeisen.

Derartig komplizierte Technologien haben ihren Preis und da die Stromkonzerne in der

Vergangenheit nur widerwillig am Wandel zur erneuerbaren Energiegewinnung mitgewirkt

haben, sowie gesetzeskonform nach und nach alle Kernkraftwerke vom Netz genommen

werden müssen, besteht jetzt ein ernst zu nehmendes Defizit im Netzausbau. Die mit dessen

Überwindung einhergehenden Kosten sollen nun aber allein durch die Verbraucher – und hier

sind es wieder in der Hauptsache die privaten Haushalte – abgedeckt werden. Während in der

Vergangenheit die Stromkonzerne jahrelang ihre Milliarden-Gewinne eben nicht in den

Netzausbau gesteckt haben, wird nun wieder der Staat zu Hilfe gerufen den Netzausbau gesetzlich so zu regeln, dass insbesondere der private Verbraucher als Melkkuh der Nation zur Kasse gebeten wird.

Auch im Betrieb von Windkraftanlagen gibt es nach wie vor unüberwindliche Probleme. Einerseits sind aus der Sicht des Netzbetreibers Defizite in der Einspeisung vorhanden, wenn mal nicht der Wind weht, d.h. nach Seemanns-Sprachgebrauch „Flaute herrscht“. Dann muss der sehen, wo er zusätzliche Energie herbekommt, wenn die Stromversorgung gesichert sein muss. In der Regel muss das dann durch „Zukauf“ an der Leipziger Strombörse erledigt werden, wenn der Netzbetreiber keine eigenen konventionellen Kraftwerke hat. Auf der anderen Seite besteht teilweise auch ein Überangebot an einzuspeisender Energie – vor allem neuerdings in der Mittagszeit bei klarem Himmel, wenn die zahlreichen PV-Anlagen, die ebenfalls am Netz hängen, richtig „powern“. Dann ist man gezwungen für diese oder jene Anlage über 30kW die eingespeiste Leistung zu reduzieren oder sie im Extremfall ganz vom Netz zu nehmen - das trifft auf alle Anlagen erneuerbarer Energiegewinnung zu. Nach der derzeit geltenden Gesetzeslage erhalten aber trotzdem die Anlagenbetreiber ihr Entgelt auch für den nicht eingespeisten Strom.

### *Thermische Solarkraftwerke*

In unseren Breiten des europäischen Raumes sind sie kaum anwendbar, aber z.B. in der heißen Sahara-Zone und im arabischen Raum finden zunehmend so genannte „Thermische Solarkraftwerke“ immer mehr Akzeptanz. Sicherlich würden es dort auch mit Photovoltaik und/oder Windkraft gehen, aber die dort vorherrschenden klimatischen Bedingungen bereiten diesen regenerativen Technologien zusätzliche Probleme. Hohe Temperaturen wirken sich bei Photovoltaikanlagen negativ auf die Ertragsleistung aus und mögliche Sandstürme sind wahres „Gift“ für Windkraftanlagen.

Die so genannten „Solarturmkraftwerke“ bestehen aus einem Absorber – ein spezielles Verdampfungsgefäß, der auf einem erhöhten Potest aufgebaut ist und auf den mittels einer flexiblen Spiegelanlage das Sonnenlicht konzentriert reflektiert wird ( **Bild 12** ). Die flexible Spiegelanlage ist so konstruiert, dass jeder Spiegel – und da kann es bis in die Hunderte gehen - schwenk- und drehbar dem Sonnenverlauf nachgeführt werden kann, so dass der Reflexionspunkt immer auf den Absorber fällt. Der Absorber wird dabei so weit erhitzt, dass Wasser (oder eine andere Verdampfer-Flüssigkeit) augenblicklich in den gasförmigen Zustand

übergeht. Mit diesem hoch erhitzten Dampf wird dann in üblicher Weise eine Turbine angetrieben, die wiederum mit einem Generator zur Stromerzeugung verbunden ist. Unproblematischer hinsichtlich der komplizierten Schwenk- und Drehmechanik besteht in der Alternative mit so genannten „Parabolrinnenkraftwerke“ ( **Bild 13** ). Dort wird in feststehenden, oder zur Verbesserung des Wirkungsgrades auch in einachsigen nachgeführten Parabolrinnen das Sonnenlicht auf ein in der jeweiligen Brennpunktlinie befindliches Rohr mit der zu verdampfenden Flüssigkeit konzentriert. Solche Solarthermie-Kraftwerke sind weltweit vor allem in den USA und in Spanien schon in größerer Anzahl im Einsatz. Der Verbreitung in den klimatisch eigentlich interessanteren Gegenden, wie der Sahara, stehen die Hürden der Abnahme der erzeugten Energie entgegen. Eine Übertragung zu den europäischen Großverbrauchern z.B. in Deutschland scheitert an den enormen Kosten für die dazu notwendigen Übertragungsleitungen.

Das größte bisher realisierte Solarthermie-Kraftwerk mit 100MW Leistung wurde 2013 in Abu Dhabi – Vereinigte Arabische Emirate eingeweiht ( **Bild 14** ). Es kann über 20.000 Haushalte mit Energie versorgen.

Bei den Solarthermischen Kraftwerken gibt es noch eine Vielzahl von Abarten, auf die hier im Rahmen dieses Vortrages nicht weiter eingegangen werden kann – siehe dazu [3].

### ***Wasserkraftwerke***

Diese zählen zu den ältesten Erzeugern erneuerbarer Energien, wobei vor der Entdeckung der Elektrizität und Erfindung des Dynamos – siehe weiter oben – die Wasserräder z.B. nur zum Kornmahlen eingesetzt wurden. Allerdings eigneten sich die langsam drehenden Wasserräder nicht für den direkten Antrieb einer Dynamomaschine, so dass man mittels Getriebe erst die erforderliche Drehzahl erzeugen musste. Erst mit der Erfindung der Wasserturbine im 19. Jahrhundert – und da waren die Franzosen führend – war der Weg geebnet, hocheffektive Wasserkraftwerke bauen zu können.

Zur Realisierung eines Wasserkraftwerkes braucht man in der Regel einen natürlichen Potenzialunterschied zwischen Ober- und Unterlauf des Gewässers. Bevorzugte Standorte sind dementsprechend die Gebirgsregionen oder Gegenden mit besonderen geologischen Eigenarten. Dazu gehören z. B. Verwerfungen der Erdkruste, wie z.B. die Niagara-Fälle in Nordamerika ( **Bild 15** ), oder in Brasilien ( **Bild 16** ).

An anderen Stellen wurde der Flusslauf angestaut, so dass riesige Stauseen entstanden, deren Niveau dann um Einiges höher liegt, als der Unterlauf. Als Beispiele seien hier der berühmten Edgar-Hoover-Staudamm ( **Bild 17** ) im Great-Canyon Kalifornien genannt, oder auch der Assuan-Staudamm in Ägypten ( **Bild 18** ), der riesige, noch zu Sowjetzeiten gebaute Staudamm in Krasnojarsk ( **Bild 19** ), oder das derzeit größte Staudammprojekt der Welt – der Drei-Schluchten-Staudamm ( **Bild 20** ) mit 18,2 GW (!) Leistung in China [4].

Da Wasserkraft 24 Stunden jeden Tag zur Verfügung steht, ist diese hervorragend in so genannten „Grundlast-Kraftwerken“ dazu da, die geeignete Alternative für die still zu legenden Kernkraft- und Kohlekraftwerke zu sein.

Günstig sind die Voraussetzungen in den europäischen Gebirgsländern, wie etwa der Schweiz, Norwegen und Schweden, so dass diese Länder schon seit langer Zeit ihren Grundlastbedarf an Elektroenergie aus Wasserkraft decken. Leider haben wir hier in Deutschland als hoch entwickeltes, dicht besiedeltes Industrieland mit enormen Energieverbrauch nicht die natürlichen Gegebenheiten Wasserkraft im großen Stil zu erzeugen. Es gibt zwar eine ganze Reihe kleinere Wasserkraftwerke, oft noch aus Vorkriegszeiten, so z.B. die Kriebstein-Talsperre ( **Bild 21** ) mit knapp 5MW, oder die erst zu DDR-Zeiten errichtete Rappbode-Talsperre mit 5,4MW ( **Bild 22** ).

Wesentlich größere Wasserkraftwerke (neuerdings sogar bis über 1000MW) sind jedoch in der Regel als so genannte Pumpspeicher-Kraftwerke angelegt – siehe „[Speichertechnologie](#)“.

Die Errichtung von Wasserkraftwerken ist durch die enormen Eingriffe in die natürlichen Umweltbedingungen mit vielen Problemen verbunden. Selbst Projekte für einfache Pumpspeicher-Kraftwerke, die dringend für die Pufferspeicherung von aus PV- und Windkraftanlagen diskontinuierlich erzeugter Energie gebraucht werden, sind in Deutschland zunehmend durch die Nichtakzeptanz der Anlieger gefährdet.

Erneuerbare Energie aus Wasserkraft kann außerdem noch in vielen anderen Formen gewonnen werden – siehe dazu [5].

### ***Brennstoffzellen***

Im Zusammenhang mit der so genannten „Wasserstoff-Technologie“ – wo Wasser mittels photovoltaisch erzeugten Strom in seine Bestandteile  $H_2$  und  $O_2$  zersetzt wird – ist auch die Brennstoffzelle von besonderem Interesse. Durch eine „kalte“ Verbrennung des  $H_2$  in der

Brennstoffzelle wird unter den kontrollierten Bedingungen der Oxidation eine direkte Umwandlung von chemischer in elektrische Energie vorgenommen ( [Bild 22a](#) )

Es gibt mehrere Bauarten von Brennstoffzellen, die jeweils unterschiedliche Betriebsbedingungen erfordern. Außer reinem Wasserstoff kann als Brenngas auch Methan, Erd- und Kohlegas, sowie das flüssige Methanol eingesetzt werden. ( [Bild 22b](#) )

Den Vorteilen der Brennstoffzelle gegenüber herkömmlichen Turbinen-Generatorsätzen im höheren Wirkungsgrad, sehr geräuscharmer und im Prinzip schadstofffreier Arbeitsweise stehen derzeit leider noch gravierende Nachteile gegenüber. So ist Wasserstoff nur sehr energieintensiv herzustellen, einzelne Komponenten der Brennstoffzelle sind noch sehr teuer und vor allem ist die Lebensdauer teilweise noch unbefriedigend.

Einzig und allein die Methanol-Variante könnte eine gewisse Bedeutung gewinnen, da Methanol großtechnisch von der Chemieindustrie hergestellt wird. Dessen Ausgangsstoffe – Wasserstoff und Kohlenmonoxid, das so genannte Synthesegas – haben aber auch wieder ihre Basis in fossilen Energieträgern. Alternativ kommen neuerdings jedoch auch nachwachsende Rohstoffe, wie z.B. Holz, bzw. andere Biomasse, oder auch Biogas dafür in Betracht. Dann spricht man von „Biomethanol“.

Ein besonderes Problem stellt jedoch die gefährliche Toxizität des Methanols dar, weil es sehr leicht durch Hautkontakt, Inhalation der Dämpfe und durch Verschlucken in den menschlichen Organismus aufgenommen wird. Eine mögliche Nervenschädigung kann die Folge sein, was insbesondere auf den Sehnerv zutrifft, was dann zur Erblindung führt.

Ein umfassender Einsatz von Brennstoffzellen konnte sich daher bislang noch nicht durchsetzen.

Weitere Details zu dieser umfangreichen Thematik kann auf den Webseiten des „Weiterbildungszentrums Brennstoffzelle Ulm e.V.“ (WBZU), sowie dem „Zentrum für Sonnenenergie- und Wasserstoff-Forschung“ (ZSW) nachgelesen werden.

## Geothermie

Zum Schluss dieses Abschnitts soll noch auf ein weiteres, weil interessantes und in Deutschland weitgehend von der Allgemeinheit unbeachtetes Teilgebiet der erneuerbaren Energien eingegangen werden.

Geothermie oder Erdwärme ist wie die Windkraft eine schon seit dem Altertum genutzte Energiequelle.

Zu unterscheiden sind hier allerdings Anlagen für oberflächennahe Erdwärme und solche, die auf Tiefbohrungen im km-Bereich beruhen. Anlagen zur Verwendung der oberflächennahen Erdwärme sind bereits seit vielen Jahren in mannigfaltiger Ausführung im Einsatz. Steht eine größere unbebaute Fläche zur Verfügung, kann über so genannte „Erdwärmekollektoren“ die relativ über das Jahr konstante Erdwärme „abgezogen“ werden. Die Erdwärmekollektoren bestehen z.B. aus einem Rohrsystem, das in z.B. 2m Tiefe verlegt wurde. In dem Rohrsystem zirkuliert, eine Flüssigkeit – meist Wasser. Über einen Wärmetauscher und einer Wärmepumpe kann die Erdwärme dann zur Heizungsunterstützung eingesetzt werden. Da die Wassertemperatur auf niedrigem Niveau liegt (5 ... 15°C), muss diese mittels einer Wärmepumpe „hoch transformiert“ wird. Wärmepumpen haben allerdings einen schlechten Wirkungsgrad von ca. 50% und sind außerdem in der Regel nur mit teurer Elektroenergie zu betreiben. Trotzdem kann unter bestimmten Umständen die energetische Bilanz eines solchen Systems durchaus positiv ausfallen. Elektrischen Strom über die üblichen Turbinen-Generatorsätze kann man allerdings mit solchen Systemen nicht erzeugen.

Stehen keine größeren Flächen für Erdwärmekollektoren zur Verfügung, kann die Erdwärme auch aus tieferen Erdschichten bis in die Größenordnung von 100m mit einer so genannten „Sondenbohrung“ in einem Zweibrunnensystem erreicht werden. Das hier relativ konstante Temperaturniveau von etwa 8 ... 12°C ist auch nur wieder mittels Wärmepumpe weiter nutzbar. In 100m Tiefe liegt das Temperaturniveau dann schon bei 10 ... 14°C.

Verallgemeinernd kann deshalb festgestellt werden – und Jahrhunderte lange Erfahrungen im Bergbau bestätigen das im Wesentlichen auch, dass die mittlere Erdtemperatur um etwa 3°C pro 100m Tiefe ansteigt. Demnach müsste bei einer Tiefe von über 3000m Wasser anfangen zu kochen. Das ist aber nur ein theoretischer Mittelwert, der in der Praxis sehr von den geologischen Gegebenheiten abhängig ist.

Ein recht guter Überblick zur Erdwärmenutzung ist in [13] gegeben

In geologisch besonders aktiven Zonen des Erdmantels, wie etwa auf Island oder „Yellowstone Nationalpark“ der USA [14] kann man auch heute noch die Urgewalten der Natur bewundern, wenn kochendes Wasser und hohe Dampf-Fontänen aus den bis in große Tiefen reichende Erdlöcher strömt – Beispiel der „Old-Faithful“-Geysier ( **Bild 23** ).

Während man in den frühen Zeiten menschlicher Zivilisation nur auf solche und ähnliche natürliche Quellen angewiesen war, ist man Dank des Fortschritts im Bergbau und bei Tiefbohrungen, insbesondere durch die langjährigen Erfahrungen bei der Erdölförderung heutzutage in der Lage in den Erdmantel bis über 5000m Tiefe vorzudringen. Allerdings sind solche Tiefbohrungen nicht ganz unproblematisch und vor allem sehr teuer.

Während die Isländer ihre natürlichen Quellen schon seit längerer Zeit zur Energiegewinnung nutzen ( **Bild 24** ), ist man in Deutschland oder anderen hoch industrialisierten Ländern immer noch im Stadium der Forschung, oder höchstens beim Probetrieb kleinerer Anlagen. Das bezieht sich hauptsächlich auf die Gebiete Deutschlands, die infolge ihrer „Hotspots“ von besonderem geothermischen Interesse sind. Wie bereits erwähnt, nimmt pro 100m Tiefe die Temperatur des umliegenden Erdreiches – bei tieferen Erdschichten kann in der Regel von Gestein ausgegangen werden – um ca. 3°C zu. Über einem „Hotspot“ kann dieser Wert aber durchaus auch bei 10°C liegen. Bei einem „Hotspot“ ist offensichtlich die feste Erdkruste wesentlich dünner als normalerweise und somit ist auch das flüssige Magma näher an der Erdoberfläche. Solche „Hotspots“ gibt es auch in Deutschland, so z.B. in der Gegend des „Oberrheinischen Grabens“ und noch an weiteren Stellen Süddeutschlands.

Bohrungen an solchen exponierten, in der Regel aber auch instabilen Stellen bergen allerdings auch die Gefahren geologischer „Nebenwirkungen“. So mussten sogar schon das Arbeiten von Geothermie-Anlagen eingestellt werden, weil dadurch kleinere Erdbeben entstanden, die wiederum als Folge von Erdverschiebungen in der Tiefe und Erdsetzungen an der Erdoberfläche große Schäden an bestehenden Bauwerken bewirkten.

Solche Ereignisse tragen natürlich nicht zur Akzeptanz dieser Alternativen zur Energiegewinnung bei.

Deshalb wird auch in weniger geologisch problematischen Gegenden gebohrt, um vielleicht dauerhaft zur Verfügung stehende Energiequellen erschließen zu können. Ein Beispiel dazu ist das im Bau befindliche Geothermie-Kraftwerk Groß Schönebeck ( **Bild 25** ).

In Groß Schönebeck - 50km nördlich von Berlin gelegen - werden die Möglichkeiten erforscht, auch in geologisch nicht so attraktiven Gebieten mit Erdwärme Energie zu erzeugen. Das Prinzip dabei ist dabei folgendes: ( **Bild 26** ). Die Probebohrung wurde bis in eine Tiefe von

über 4300m vorgetrieben und welches Ergebnis sich danach ergab, zeigt das folgende Bild ( **Bild 27** ). Wabernde Dampfwolken schweben über der Anlage...

Messungen ergaben eine Dampf-Temperatur von 150°C, also schon fast zu gebrauchen für eine normale Dampfturbinenanlage. Allerdings gibt es „Nebenwirkungen“, die nicht so einfach zu umgehen sind. Offensichtlich sind in den durchbohrten Gesteinsschichten Salze eingelagert, die dann durch den Dampf herausgelöst wurden und sich an anderer Stelle wieder abgelagert haben - mit der Folge, dass sich das Bohrloch mehr und mehr verengte und somit zu einem Strömungshindernis wurde. Das Projekt gilt derzeit als abgeschlossen, aber Strom wurde dort noch keiner erzeugt, d.h. es handelt sich eben nur um eine Versuchsanlage.

Um Erdwärme noch effektiver nutzen zu können – auch in Regionen geothermischer Unattraktivität müssen die Bohrungen noch weit tiefer hinab getrieben werden. Wenn man bis in die Größenordnung 10.000m kommen könnte, dann wären Dampftemperaturen von etwa 300°C möglich, also ähnliche Verhältnisse, wie in einem konventionellen Kohlekraftwerk moderner Bauart. Es bedürfte dann auch keinerlei Pumpenanlagen mehr, denn das Wasser würde an der Bohrlochwand 10km in die Tiefe stürzen, auf dem Weg dort hin vorgewärmt werden und im unteren Bereich an den 300°C heißen Gesteinsschichten augenblicklich verdampfen. Der sich damit ergebende hohe Druck würde wie bei den Isländischen Geysiren den Dampf aus dem Loch schleudern, so dass dieser direkt, oder wie üblich über einen Wärmetauscher die Turbine antreiben kann.

Das hört sich alles sehr gut an - das Problem ist nur, wie kann man ein so tiefes Loch kostengünstig bohren?

Hier könnte vielleicht die innovative Bohrloch-Technologie der kleinen US-amerikanischen Firma „Potter-Drilling Inc.“ aus Kalifornien die Lösung sein [15].

In dem bereits seit 2004 bekannten Verfahren werden keine schweren, dem Verschleiß unterliegenden Bohrköpfe verwendet, sondern ein entsprechend starker, auf die Gesteinsschicht gerichteter Plasmabrenner. Dadurch wird die Gesteinsschicht örtlich so stark erhitzt, dass sie in kleinen Stücken abplatzt und diese dann durch den Plasma-Gasdruck beiseite geschleudert werden ( **Bild 28** ). Mit dem Absenken des Plasmabrenners wird somit ein immer tiefer werdendes Loch erzeugt und die abgesprengten Gesteinspartikel werden durch den Gasdruck mit nach oben transportiert. Nach Herstellerangaben wird mit dieser Technologie eine Bohrleistung im härtesten Gestein, wie z.B. in Granit von etwa 10m pro Stunde erreicht, was im Vergleich zur herkömmlichen Bohr-Methode eine enorme Steigerung

darstellt, die sich wiederum in geringeren Kosten ausweisen läßt. Angegeben ist auch, dass Bohrlochdurchmesser bis etwa 30cm durchaus möglich sind, was nun wirklich große Mengen Dampf-Durchströmung zulassen würde.

Die Plasmabrenner-Methode hätte auch den Vorteil, dass infolge der sehr hohen Einsatztemperatur eine gewisse „Versiegelung“ der Bohrlochwand stattfindet. Damit wären dann vielleicht die Probleme der ggf. vorhandenen Auslaugung von Salzen durch den ausströmenden Dampf gelöst.

Welche weiteren Probleme bei größeren Tiefen durch die immer höher werdende Zugkraft an der Plasmabrenner-Haltevorrichtung (z.B. Stahlseile) auftreten würden und ob der Plasma-Gasdruck auch noch ausreicht, um aus den großen Tiefen die Gesteinspartikel an die Oberfläche zu befördern, ist noch ungewiss. Möglicherweise kann durch eine Unterdruckerzeugung im Bohrloch - während der Plasmabrenner im Einsatz ist – eine zusätzliche Absaugung der Abgase des Plasmabrenners erfolgen und somit der Abtransport der Gesteinspartikel nach oben unterstützt werden.

Das wäre dann Stoff für weitere Forschungsaufgaben.

## Speichertechnologie

Um in Spitzenzeiten des Energiebedarfs diesen abdecken zu können, bzw. in Schwachlastzeiten überschüssige, insbesondere von PV- und Windenergieanlagen erzeugte Energie zwischenspeichern zu können, werden zunehmend dazu entsprechende Speichereinrichtungen benötigt. Infolge des Ausstiegs aus der Kernenergie und nachhaltiger Zurückhaltung beim Erhalt, bzw. der Erneuerung von Kraftwerken auf Basis fossiler Energieträger stehen diese zunehmend nicht mehr für die Grundlast- und Spitzenlastversorgung zur Verfügung.

Auch das ist eine Folge der so genannten „Energiewende“.

Infolge dessen treten Defizit-Probleme auf bei der Netzeinspeisung und/oder Entnahme:

- im Subsekundenbereich bis zu wenigen Minuten (Einspeisefluktuationen),
- bis zu einem Tag (z. B. Tagesmuster PV),
- bis zu drei Tagen (Zufallsschwankungen),
- ein bis zwei Wochen (anhaltende Stark- oder Schwachwindperioden),
- im saisonaler Ausgleich [6].

Um diese ausgleichen zu können, sind entsprechende Speicher notwendig, die sowohl den zeitlichen Bedingungen, wie auch den Leistungsanforderungen gerecht werden.

Für die Speicherung elektrischer Energie kann unterschieden werden in

- direkte Stromspeicher, wie Kondensatoren oder Batterien und
- zahlreiche indirekte Energiespeicher, die die elektrische Energie über Umwandlungen in mechanische Energie speichern. Dazu gehören z.B. die bereits erwähnten Pumpspeicherwerke, Druckluft- und Schwungradspeicher.

Eine Sonderstellung bei der Speicherung elektrischer Energie nimmt die so genannte „**Wasserstofftechnologie**“ ein. Hierbei wird mittels Strom betriebener Elektrolyse Wasser in Wasserstoff und Sauerstoff zersetzt, wobei der Sauerstoff in die Atmosphäre abgelassen und nur der Wasserstoff durch aufwändiges Verdichten in speziellen Druckbehältern gespeichert wird. Bei Bedarf wird mit dem Wasserstoff eine Gasturbine betrieben, die wiederum einen Generator antreibt, welcher seine erzeugte Elektroenergie ins Netz zurückspeist.

Alles in allem ist das ein recht kompliziertes und teures Verfahren, so dass es bisher nur staatlich geförderte Pilotanlagen gibt, z.B. die „Power to Gas“-Anlage im brandenburgischen Falkenhagen ( **Bild 29** ) [7], die allerdings den erzeugten Wasserstoff direkt in das Gasverbundnetz einspeist. Von einem direkten Energiespeicher kann in diesem Zusammenhang eigentlich nicht gesprochen werden.

Auch bei dem bereits 2011 ans Netz gegangenen „Hybridkraftwerk“ der Fa. ENERTRAG in der Nähe von Prenzlau ist die Wasserstoff-Technologie nur Mittel zum Zweck, allerdings mit zusätzlicher Vermarktung des Wasserstoffs als Kraftstoff für H<sub>2</sub>-Fahrzeuge. Unter Einziehung von aus betriebseigenen Biogasanlagen erzeugter Energie gilt das dann für die Rückstromphase ( **Bild 30** ). Der für den Betrieb der Elektrolyseure notwendige Strom stammt aus den eigenen drei Windkraftanlagen mit je 2,3MW Leistung [7].

**Pumpspeicher-Kraftwerke** sind auch in Deutschland an vielen Standorten anzutreffen, einige sind schon aus Vorkriegszeiten und heutzutage in Folge der Energiewende wieder stark im Kommen. Sie sind in ihrer Effektivität zwar nicht besonders gut – Wirkungsgrad nur 70 – 85%, aber wegen ihrer immensen Leitungsfähigkeit bis in den GW-Bereich für hoch industrialisierte Länder wie Deutschland unverzichtbar.

Als Beispiel sei hier das bekannte Pumpspeicherwerk Niederwarthe genannt ( **Bild 31** ). Es wurde bereits in den 1920er Jahren erbaut und ging 1929/30 mit einer Leistung von 132 MW ans Netz. Nach dem 2. Weltkrieg und Demontage durch die Siegermacht Sowjetunion konnte es erst in den 1950er Jahren dann schrittweise wieder aufgebaut werden.

Allerdings gibt es – wie bereits unter „Wasserkraftwerke“ angesprochen – vielfach bei neuen Projekten zu Pumpspeicher-Kraftwerken erheblichen Widerstand der Anwohner und Umweltschützer wegen der nicht unerheblichen Eingriffe in die natürlich gegebene Landschaft. Dass sich mit solchen Projekten auch Aufwertungen der Gegend ergeben können infolge des Stausees und der damit verbundenen Touristik-Möglichkeiten, wird vielfach übersehen.

Nachdem in der Vergangenheit die Elektroenergie-Erzeugung hauptsächlich in großen Kohle- oder Kernkraftwerken zentralisiert war und demzufolge auch die Netze so angelegt sind, vollzieht sich mit der Einführung „Erneuerbarer Energien“ ein Strukturwandel hin zu einer weitgehenden Dezentralisierung. Das betrifft auch die Energiespeicher.

Als bereits in den Jahren 2005 ... 2007 absehbar war, dass es mit den vorhandenen Netzen zunehmend zu Problemen kommen wird, gab es auch recht bald aus der PV-Industrie Vorschläge durch partielle Zwischenspeicherung direkt in den elektronischen Betriebsgeräten der PV-Anlagen unliebsame Spitzen abzubauen und deren Energie erst zu einem späteren Zeitpunkt einzuspeisen, wenn die Netzauslastung es wieder zulässt. Leider sind die Stromkonzerne, die ja in der Regel auch die Netzbetreiber sind, nicht dafür zu gewinnen gewesen. Diese stellten sich auf den Standpunkt, solange es dafür keine staatlichen Vorgaben gibt, sehen sie sich außer Stande dazu tätig zu werden.

Dieser Standpunkt änderte sich erst, als dann 2008 im EEG die Möglichkeit des Eigenverbrauchs verankert wurde. Weil auch die Vorrangigkeit der Einspeisung gegenüber dem Eigenverbrauch abgeschafft wurde, entschärfte sich die Situation insbesondere für die vielen kleinen Dachanlagen der Eigenheimbesitzer. Kritisch sind aber immer noch die ganz großen Anlagen, wie etwa Solarparks oder Windenergie-Parks mit wenig oder gar keinem Eigenverbrauch. Hier werden entsprechend dimensionierte Energiespeicher gebraucht, um bei Überangebot durch die dann notwendige Leistungsreduzierung oder gar Abschaltung keine wertvolle Energie zu verschenken.

Für kleinere und mittlere PV-Anlagen sind aus Kostengründen nach wie vor herkömmliche Blei-Batteriesysteme im Einsatz. Aber auch die moderneren Lithium-Batteriesysteme sind trotz ihrer wesentlich höheren Kosten stark im Kommen.

Eine Abart herkömmlicher chemischer Batteriesysteme stellt die moderne „Redox-Flow“-Technologie dar. Hierbei werden im Gegensatz zu den herkömmlichen Batteriesystemen zwei energiespeichernde Elektrolyte in zwei getrennten Kreisläufen eingesetzt, die mittels Pumpen an einer Membran zum Ionenaustausch vorbeigeführt werden. In der Zelle werden dabei die gelösten Stoffe chemisch reduziert bzw. oxidiert, wobei elektrische Energie frei gesetzt, bzw. aufgenommen wird. Derartige Systeme waren lange Zeit nur als Versuchsobjekte bekannt, jetzt stehen aber industriell hergestellte Anlagensysteme zu Verfügung, die allerdings wegen des relativ hohen Anlagen-Aufwandes nur für größere Leistungen wirtschaftlich sind. Ein Beispiel dafür ist „CellCube“ mit eingetragenen Warenzeichen der Gildemeister AG in Wien und Würzburg ( **Bild 32** ). Die Anlagen stehen in den Leistungsklassen 40/70/100/140kWh, bzw. 400/800/1600kWh zur Verfügung. Es handelt sich dabei um kompakte schlüsselfertige Einheiten mit einem Aufstellgewicht von 7 ... 20t und mehreren Quadratmeter Aufstellfläche.

Trotz all der jahrzehntelangen positiven Erfahrungen mit chemischen Batterien stellen deren technische Gegebenheiten doch keine Option auf die Zukunft dar.

Welche zukünftigen Möglichkeiten der Speicherung elektrischer Energie würden denn dann noch bestehen – aus heutiger Sicht?

Eine der innovativsten Ansätze in dieser Richtung ist die Anwendung der Nanotechnologie. Es gibt sie zwar schon – die „Super-Cap“-Kondensatoren, die auf kleinstem Raum schon relativ viel Energie speichern können. Einen richtigen Technologiesprung würde aber erst die großtechnische Umsetzung der so genannten „Quantenbatterie“ bringen [8].

Rein zufällig wurde bereits 2008 von dem aus Deutschland (Uni München) stammenden Prof. Alfred Hübler bei Arbeiten an Nanostrukturen für zukünftige Datenspeicherelemente an der Universität Illionis (USA) entdeckt, dass sich auf Grund von Quanteneffekten außergewöhnliche Energiespeicher erzeugen lassen ( **Bild 33** ). Im Prinzip sind es extrem kleine Vakuum-Kondensatoren mit speziell ausgeformten Elektroden. Die Dimensionen bewegen sich dabei im Nanometer-Bereich und sind somit derart klein, dass auch noch andere Effekte von nachhaltiger Wirkung sind. So sind z.B. die Anziehungskräfte an den Elektroden derart groß, dass nur noch spezielle Materialien mit sehr hoher Zugfestigkeit, wie z.B. Molybdän oder Wolfram zum Einsatz kommen können. Hinderlich dabei ist allerdings die Tatsache, dass es mit diesen Materialien im Gegensatz z.B. zu Kohlenstoff – Stichwort „Nano-Carbon“ – noch wenig oder gar keine Erfahrungen im Umgang damit in Nanostrukturen gibt. Nano-Carbon könnte prinzipiell zwar auch eingesetzt werden, hat aber den Nachteil der geringeren elektrischen Leitfähigkeit, was bei den sehr hohen inneren Stromdichten zu erheblichen ohmschen Verlusten führen würde.

Das eigentliche Phänomen ist aber die erhöhte Durchschlagsspannung.

Während die Durchschlagsspannung eines Vakuum-Kondensators beim Plattenabstand bis etwa 200nm herunter ständig abnimmt, treten darunter Quantentunneleffekte auf, die die Durchschlagsspannungen bis auf etwa 100V wieder anwachsen lassen.

Nach den von Prof. Hübler vorgenommenen Untersuchungen würden sich mit dieser Technologie Speicherelemente ergeben, die etwa die 7...10-fache Speicherdichte im Vergleich zu den besten bisher erhältlichen Lithium-Batterien und noch weitere Vorteile haben ( **Bild 34** ).

Interessant ist auch, dass es nach der Erstveröffentlichung keine weiteren, bzw. jüngeren Informationen mehr zur „Quantenbatterie“ gibt, so dass vermutlich davon auszugehen ist, dass die weitere Bearbeitung dieses Themas unter dem „Schutz des Defence Department“ der USA steht.

In der Schweiz gab es ebenfalls in der Zeit um 2009 einen Forscher an der ETH Zürich namens Rolf Eisenring, der mit TiO<sub>2</sub>/SiO<sub>2</sub>-Materialien auch an einer „Quantenbatterie“ arbeitete und sogar schon Versuchsmuster vorweisen konnte ( **Bild 35** ). Er nannte sein Projekt „Photon Resonance Quantum Battery“. Wie aus gut unterrichteten Kreisen bekannt wurde, ist er jedoch eigenartigerweise frühzeitig verstorben und seine Web-Seiten sind auch nicht mehr online. Ein diesbezüglicher Eintrag in der „Wikipedia“ ist ebenfalls gelöscht worden – das ist doch schon sehr merkwürdig...

Lediglich in der 11-seitigen Diskussion in einem englischsprachigem Forum [9] kann man noch nachlesen, wie man Rolf Eisenring „fertig gemacht“, um seine Forschungsergebnisse zu diskreditieren. Was aus den Forschungsergebnissen geworden ist, weis niemand.

Hier in Deutschland interessiert sich offensichtlich niemand für diese Hochtechnologie - obwohl Forschungen zur Speichertechnologien staatlicherseits mit enormen Mitteln gefördert werden. Es gab allerdings schon Anstrengungen, eine Forschungsaufgabe zur „Quantenbatterie“ im „Institut für Halbleiterphysik“ in Frankfurt/Oder zu etablieren. Ohne jedoch einen potentiellen Finalproduzenten im Hintergrund zu haben, scheitern in der Regel solche Bemühungen.

Leider konnte sich bisher z.B. auch der bekannte Berliner Batterie-Hersteller „BAE“ noch nicht dazu positionieren.

## Bioenergie

Neben Windenergie und Photovoltaik ist die Bioenergie eine weitere tragende Säule der Energiewende hin zur vollständigen Versorgung aus erneuerbaren Energien.

Allen Bioenergie-Technologie gemeinsam ist, dass aus nachwachsenden organischen Stoffen entweder

- Biogas, oder
- Biokraftstoffe

gewonnen werden, oder dass diese direkt zur Energiegewinnung eingesetzt werden.

Der eigentliche energetische Transformationsprozess erfolgt dabei aus der Strahlung der Sonnenenergie, die organische Lebewesen, d.h. z.B. Pflanzen unter Zuhilfenahme von CO<sub>2</sub> aus der Luft und weiterer Nährstoffe aus dem Boden mittels des Wirkprinzips der Photosynthese zu Biomasse umsetzen. Aus der Biomasse kann dann nach verschiedenen Verarbeitungsstufen durch einen Verbrennungsprozess z.B. in einer Dampfkesselanlage Wärmeenergie zu erzeugen, mit der dann mittels Turbinen und Generatoren auch Strom erzeugt werden kann. Ähnlich wie in einem herkömmlichen Kohlekraftwerk verläuft dieser Prozess kontinuierlich so lange, wie Biomasse zur Verfügung steht. Die dabei anfallenden Verbrennungsrückstände (Bio-Asche) können unbedenklich direkt wieder als Nährstoff dem Biomasse-Kreislauf zugeführt werden.

Ein einfaches Beispiel dafür ist die Pellet-Heizungsanlage ( **Bild 36** ), die in der Vergangenheit alternativ für normale Gas-/Ölkesselanlagen angepriesen wurden. Die gepressten Holzsplitter sind jedoch im Laufe der Jahre immer teurer geworden, so dass damit kaum noch Heizkosten mehr eingespart werden können. Die Verteuerung hängt insbesondere mit der hohen Nachfrage von Biomasse zur Biogasherstellung zusammen.

Da sich gasbetriebene Blockheizkraftwerke (BHKW – Beispiel **Bild 37** ) besonders gut den jeweiligen Lastbedingungen anpassen lassen und diese in allen Größenordnungen von der Industrie bereitgestellt werden, ist für solche natürlich der Betrieb mit Biogas von besonderem Interesse. Biogas wird hergestellt, in dem die Biomasse in flüssiger Form einem Gärprozess in einer Biogas-Anlage ( **Bild 38** ) unterworfen wird. Das dabei in der Hauptsache entstehende Methan-Gas wird aufgefangen, um in bestimmtem Maße verdichtet in Druckbehälter gelagert zu werden. Von dort aus wird dann entweder das vor Ort vorhandene BHKW betrieben, oder in einer aufwändigeren Variante der Druckbehälter-Inhalt auf Tankfahrzeuge umgefüllt, um diese zu den BHKWs zu transportieren.

Die Verbrennung von Biogas hat im Vergleich mit Biomasse den Vorteil, dass dabei keine Verbrennungsrückstände anfallen, die wieder kompliziert dem organischen Wachstumsprozess zurückgeführt werden müssen. Es fällt lediglich das bei der Verbrennung entstehende CO<sub>2</sub> an, was durch die Luft im Prinzip auch wieder dem Biowachstum zugeführt wird, was man somit auch schon als einen gewissen Kreislaufprozess ansehen kann.

Obwohl anfänglich angedacht die zu vergärende Biomasse hauptsächlich aus Holzabfällen und Gülle bestehen sollte, haben infolge von nicht unerheblichen Förderbedingungen findige Bauern bald herausgefunden, dass es viel lukrativer ist, schnell wachsende Pflanzen, wie z.B. Mais auf ihren Feldern anzubauen und damit die eigene Biogasanlage zu betreiben, als ihre Feldwirtschaft weiterhin der menschlichen Ernährung zu widmen.

Damit ergibt sich nun eine Konkurrenzsituation der menschlichen Ernährung einerseits und der regenerativen Energieerzeugung auf der anderen Seite, was sich im Weltmaßstab noch viel negativer auswirkt, weil ganze Urwälder gerodet werden, nur um Flächen für den Maisanbau zur Biogasherstellung zu gewinnen. Ehemals landwirtschaftlich genutzte Flächen in der so genannten „3. Welt“, die bislang für die eigene Ernährung dienten, werden von Global-Playern des internationalen Finanzkapitals aufgekauft, um dort in riesigen Anbauarealen Mais oder andere schnell wachsende Biomasse anzubauen, die ausschließlich für die Biogas-/Biosprit-Herstellung zur Verfügung steht. Infolge dessen ergibt sich eine Verknappung von Ernährungsstoffen, was wiederum mit exorbitant steigenden Preisen vor Ort verbunden ist, die die einheimische Bevölkerung nicht mehr bezahlen können und somit Hungersnöte vorprogrammiert sind.

Die industrialisierte Gesellschaft kapitalistischer Prägung ist infolge ihrer notwendigen Flexibilität bei Waren und Dienstleistungen voll auf gut ausgebaute Verkehrswege angewiesen und um diese auch befahren zu können, dann noch auf de facto unerschöpfliche Mengen flüssiger Kohlenwasserstoffe für den Betrieb der dazu notwendigen Fahrzeuge. Zwar gibt es auch jetzt schon Fahrzeuge mit gasgetriebene Motoren, die aber wegen der geringeren Energiedichte des Erd- oder Biogases bei Weitem nicht an die wesentlich günstigeren Eigenschaften mit benzin- oder dieselgetriebenen Motoren herankommen.

Der eigentliche Clou wäre demnach, wenn aus der Biomasse direkt oder auch über Umwege flüssige Treibstoffe, d.h. Kohlenwasserstoffe hergestellt werden könnten. Solche Überlegungen gibt es schon lange und einige Versuchsanlagen sind auch schon in Betrieb gewesen – es sei hier nur an das unrühmlich Beispiel „Choren“ im sächsischen Freiberg erinnert ( **Bild 39** ).

Unter großem Erwartungsdruck ist 2012 das Werk zur Produktion von so genannten

„SunDiesel“ in Betrieb genommen worden - ist jedoch dann kurze Zeit später in Insolvenz gegangen. Wie bei vielen solchen HighTech-Vorhaben – man denke nur an „CargoLifter“ oder „Communicant“ – sind Dilettantismus, Unvermögen, Halbherzigkeit und natürlich auch regelrechte Sabotage häufig die Ursachen des Scheiterns.

Das technische Verfahren zur Herstellung von flüssigen Kohlenwasserstoffen aus gasförmigen ist schon aus Vorkriegs-Zeiten bekannt – das in Buna entwickelte „Fischer-Tropsch-Verfahren“. Damit wurde Kohle in den gasförmigen Zustand überführt, um daraus Benzin für die Kriegsmaschinerie des 3.Reichs herzustellen.

Trotz der Pleite mit „Choren“ gibt es auch in der heutigen Zeit Industrieunternehmen, die sich mit der Aufbereitung von Biomasse zu Biodiesel und anderen modernen Kraftstoffen befassen. Offensichtlich ist es wirtschaftlich viel interessanter einen breit aufgestellten Konzern zu haben, als „nur“ ein Biodiesel herstellendes Werk. Ein beredtes Beispiel soll anhand des VERBIO-Konzern ( **Bild 40** ) zeigen, wie man das heutzutage handhabt. Im Konzernverbund enthalten ist auch die „Märka GmbH“, u.a. auch ein Erfassungsbetrieb für Biomasse, auf den im Zusammenhang mit dem Thema „**Algen**“ noch mal zurückzukommen ist.

Hier erhebt sich nun die Frage, was haben „**Algen**“ mit regenerativer Energiegewinnung zu tun?

Wir alle kennen Algen als grünlich-glibbernden Schleim heimischer Gewässer, wenn an heißen Sommertagen die Wassertemperatur ungewöhnlich hoch angestiegen ist. Algen sind eine besondere Pflanzenart, die in sehr vielen Varianten in natürlicher Umgebung vorkommt und durch ihre besondere Eigenschaft sich ungeheuer schnell zu vermehren vermag, was teils gefürchtet, aber neuerdings in besonders gestalteten Umgebungen auch stark gefördert wird. International, besonders in den USA wurden regelrechte Freiland-„Algenfarmen“ angelegt ( **Bild 41** ), in denen Algen-Biomasse produziert wird, deren Wachstum etwa 7-mal so schnell erfolgt, wie z.B. der auf vergleichbaren Feldgrößen angebaute Biomais. In Deutschland stehen solche großen Flächen, die für eine „Algenfarm“ geeignet wären, in der Regel nicht zur Verfügung, so dass man andere Wege gehen musste, Algen in großtechnischen Maßstab herstellen zu können. Außerdem spielt hier natürlich auch unser mitteleuropäisches Klima eine entscheidende Rolle, denn Algen wachsen nur in einem eng begrenzten Temperaturbereich. Algenanlagen werden deshalb unter Glas, d.h. in einem regelrechten Gewächshaus untergebracht. Eine der größten Anlagen steht im sachsenanhaltinischen Klötze – ( **Bild 42** ). Auf einer 1,2 ha großen, allseitig verglasten Fläche zirkuliert in über 500km langen Glasröhren

das Algen-Wasser. Die Effektivität, d.h. der Ertrag pro Zeiteinheit und Wasser-Volumen kann aber durch ausgeklügelte Anlagensysteme noch weiter gesteigert werden. Z.B. bieten die Firmen „Subitec“ aus Stuttgart ( [Bild 43](#) ) und „ecoduna“ aus dem österreichischen Bruck ( [Bild 44](#) ) mit ihren „hängenden Gärten“ verschiedene Anlagensysteme an, die unter vergleichbaren Betriebsbedingungen in der Versuchsanlage des Kraftwerks Senftenberg getestet werden – ( [Bild 45](#) ).

Es bestand die Möglichkeit im Rahmen einer Exkursion des VBIW die Algenanlage in Senftenberg zu besichtigen. Die dabei gewonnenen Erkenntnisse sind in einem diesbezüglichen Bericht niedergeschrieben, ausgewertet und mit zu lösenden Konsequenzen versehen worden [10]. Da sich hier ein unabsehbar großes neues Betätigungsfeld auftut und mit modernen innovativen Verfahren zur Biomasse-Herstellung durch Algen sich wahrscheinlich eine ganz neue Branche aus dem Boden stampfen läßt, wurde in den bekannten Algen-Portalen „BiomassMuse“ und „AlgaeObserver“ jeweils ein entsprechender Beitrag gepostet [11], bzw eine Fortsetzung dazu [12].

Ausgehend von den Erlebnissen während der Senftenberg-Exkursion und den daraus abgeleiteten Erkenntnissen wurden vom Autor die Grundzüge eines neuen Bioreaktors entworfen, der ohne die teure Glasumhausung auskommt und skalierbar an alle möglichen Verbrennungsanlagen – z.B. BHKWs als CO<sub>2</sub>-Lieferant angepasst werden kann, wenn es die örtlichen Voraussetzungen zulassen. Die Systemtechnologie sieht weiterhin vor, dass die anfallende Biomasse „Algen“ durch Dienstleister eingesammelt, abgefahren und einem zentralen Verarbeitungswerk zugeführt wird – so, wie das bei der Altfett- und Altöleentsorgung heute bereits gängige Praxis ist. So könnte bei dem derzeit in Deutschland vorhandenem Potenzial an BHKWs und anderen Heizungsanlagen eine ungeheuer große Menge an Biomasse erzeugt werden.

Dies wiederum wäre die Grundlage sich von der immer noch marktbeherrschenden Mineralölindustrie weitgehend unabhängig zu machen. Und – machen wir uns nichts vor, infolge des weltweit immer rasanter ansteigenden Bedarfs an Treibstoffen für die immer größer werdende Automobil-Flotte werden in naher Zukunft trotz Erschließung auch noch der letzten Erdölreserven – Stichwort „Cracking“ – die Benzinpreis in Schwindel erregende Höhe steigen.

*Ansonsten - was dann?*

Wenn es nicht gelingt die CO<sub>2</sub>-Emmissionen in einen Kreislaufprozess zu zwingen, wird einerseits der eingangs geschilderte Klimawandel unwiderruflich eintreten und andererseits die

gewünschte individuelle Mobilität auf Basis von Kohlenwasserstoff-Treibstoffen ein abruptes Ende nehmen.

Da hilft dann auch nicht mehr die so hoch gelobte „e-Mobilität“, die möglicherweise eine – wenn auch sehr teure Alternative zum herkömmlichen Auto ist. Es ist aber kaum anzunehmen, dass der ständig wachsende LKW-Verkehr auf e-Mobilität umgestellt werden kann - vor allem, wenn es darum geht, weiterhin den Fernverkehr zu bedienen. Dafür ist die Energiespeicherdichte der derzeit vorhandenen Batterien einfach viel zu klein.

*Was bleibt dann aber zu tun?*

Eine der wichtigsten Forderungen zur Eindämmung, bzw. Reduktion des CO<sub>2</sub>-Anteils der Atmosphäre ist die Wiederaufforstung brachliegender Acker- und sonstiger Flächen – überall dort, wo Nadel- oder Laubbäume auch nur die geringste Chance des Wachstums haben. Neben der CO<sub>2</sub>-Reduzierung würde sich damit auch wieder eine erhöhte Sauerstoff-Produktion ergeben, deren Defizit in der Atmosphäre derzeit noch nicht wesentlich spürbar ist, aber auf längere Sicht hin mindestens genauso problematisch werden wird, wie die erhöhte CO<sub>2</sub>-Konzentration.

Eine weitere Maßnahme wäre wieder den Güterverkehr im großen Stil auf die Schiene zu bringen. Infolge der weitgehenden Elektrifizierung ist das möglicherweise ein guter Ansatz, aber dazu ist das Schienennetz in der derzeitigen Anlage ungeeignet, weil es in der Vergangenheit aus niederen Renditezielen großflächig demontiert wurde. Wo früher wenigstens jeder Großbetrieb einen Gleisanschluss hatte, wird heute alles per LKW transportiert und das ist mit Sicherheit weder zukunftssträftig noch nachhaltig, wenn es keine Alternative zum aus Erdöl hergestellten Diesel gibt.

Und genau diese Alternative könnte es mit der Algentechnologie geben – es muss halt nur angefangen werden!

Deshalb ergeht an dieser Stelle ein Aufruf an alle Interessierten – insbesondere aus der jungen Generation – sich ernsthaft mit dem Algenthema auseinanderzusetzen und in Folge dessen durch Neugründungen von diesbezüglichen Unternehmen eine völlig neue Branche „aus den Boden zu stampfen“, die nicht nur in Deutschland, sondern weltweit hilft eine „CO<sub>2</sub>-Kreislaufwirtschaft“ durchzusetzen.

Es werden jung-dynamische Mitstreiter mit entsprechenden Fachkenntnissen gesucht, die mit viel Elan und Enthusiasmus dieses hochinteressante Thema weiter vorantreiben!

## **Schlussbemerkungen**

Zum Schluss noch eine allgemeine Bemerkung zur Energiegewinnung.

Wenn es in Zukunft gelingen sollte, nahezu unbegrenzt und kostengünstig aus regenerativen Quellen Energie zu gewinnen, wird es auch möglich sein, heute noch als unwirtschaftlich angesehene Prozesse insbesondere in der Recycling-Industrie zu verwirklichen. Denn außer dem Energieproblem haben wir demnächst auch ernstzunehmende Ressourcen-Probleme bei vielen Grundstoffen.

Zu einigen wichtigen Grundstoffen wird es schon in naher Zukunft verheerende Defizite geben. Es sind nicht nur die für die Elektronik so wichtigen „Seltene Erden“, sondern auch so profane Metalle, wie z.B. Zinn, wo die Ressourcen schon jetzt bedenklich gering geworden sind.

Aber vielleicht ergeben sich in Zukunft auch dazu Alternativen – es ist halt immer wieder nur eine Frage der ausreichend wirtschaftlich verfügbaren Energie.

Damit sind wir am Ende des Vortrags angekommen.

Ich danke Ihnen für Ihre Aufmerksamkeit und bitte jetzt die Diskussion zu eröffnen.

- ende -

## Literatur

- [1] Manfred Kriener: "Die Kraft aus der Luft", [www.zeit.de/2012/06/Windkraft/komplettansicht](http://www.zeit.de/2012/06/Windkraft/komplettansicht)
- [2] [www.faz.net/aktuell/wirtschaft/unternehmen/vor-30-jahren-wie-die-windkraft-testanlage-growian-scheiterte-12620215.html](http://www.faz.net/aktuell/wirtschaft/unternehmen/vor-30-jahren-wie-die-windkraft-testanlage-growian-scheiterte-12620215.html)
- [3] Sonnenwärmekraftwerke, <http://de.wikipedia.org/wiki/Sonnenw%C3%A4rmekraftwerk>
- [4] Drei-Schluchten-Staudamm, <http://de.wikipedia.org/wiki/Drei-Schluchten-Talsperre>
- [5] Wasserkraft, <http://de.wikipedia.org/wiki/Wasserkraftwerk>
- [6] Stromspeicher als intelligente Lösung für den deutschen Markt? – in:  
[http://et-energie-online.de/Portals/0/PDF/jahresspecial\\_2012.pdf](http://et-energie-online.de/Portals/0/PDF/jahresspecial_2012.pdf)
- [7] Hybridkraftwerk, <https://www.enertrag.com/projektentwicklung/hybridkraftwerk.html>
- [8] Alfred Huebler: „Digital quantum batteries: Energy and information storage in nano vacuum tube arrays“, Department of Physics, University of Illinois at Urbana-Champaign, 2009
- [9] <http://www.theeestory.com/topics/1103?page=1>
- [10] Peter Salomon: „Bericht und Schlussfolgerungen zur Exkursion zur Algenanlage im Kraftwerk Senftenberg (Vattenfall)“
- [11] Peter Salomon: „Energie aus Algen – Heute und nicht erst übermorgen!“, <http://www.biomasse-nutzung.de/energie-algen> und:
- [12] Peter Salomon: „Algenkultivierung: Vorstellung der Algenforschung an der TH Wildau“  
<http://www.biomasse-nutzung.de/algenkultivierung-algenforschung-wildau/>
- [13] [http://www.lfu.bayern.de/umweltwissen/doc/uw\\_20\\_erdwaerme.pdf](http://www.lfu.bayern.de/umweltwissen/doc/uw_20_erdwaerme.pdf)
- [14] <http://de.wikipedia.org/wiki/Yellowstone-Nationalpark>
- [15] [http://www.energy.ca.gov/research/notices/2012-02-29\\_workshop/presentations/Geothermal/Potter\\_Drilling\\_Presentation.pdf](http://www.energy.ca.gov/research/notices/2012-02-29_workshop/presentations/Geothermal/Potter_Drilling_Presentation.pdf)

Einzuladen wäre potentielles Interessenten-Klientel, d.h. z.B. auch aus der HTW und anderen Bildungseinrichtungen, z.B. TH Wildau, HUB, VBIW, aber auch BAE (wegen Speichertechnologien) usw.