

# Blickpunkt Solarzeitalter

## 10 Kriterien für zukunftsfähige Lösungen

Hans-Heinrich Schmidt-Kanefendt

Ein zweites Solarzeitalter steht der Menschheit unausweichlich bevor - nach dem Jahrtausende währenden ersten Solarzeitalter und einer vergleichsweise kurzen Episode mit fossilen und atomaren Brennstoffen (vgl. z. B. Michael F. Jischa [1], S. 12). Der Übergang dahin wird erzwungen durch die zur Neige gehenden Vorkommen und die bedrohlichen Umweltschäden. Und er wird innerhalb weniger Jahrzehnte vollzogen sein (vgl. Energy Watch Group [11], [12], [13]). Gleich, ob man sich nun auf das Solarzeitalter einzustellen oder es aufzuhalten sucht, an der Geschwindigkeit des Niedergangs dürfte das kaum etwas ändern. Mit welchen Konsequenzen dies allerdings für die Menschheit verbunden sein wird, das hängt entscheidend von der Vorbereitung auf das Ende der fossilen und atomaren Energien ab.

Von der Alternativlosigkeit einmal abgesehen - ein Umbau der Energiesysteme hin zur vollständigen Bedarfsdeckung mit erneuerbaren Energien erscheint auch machbar (vgl. Hermann Scheer [2], [3]). Je schneller der Umbau gelingt, desto eher lassen sich katastrophale gesellschaftliche Umbrüche vermeiden oder doch zumindest abfedern (vgl. Al Gore [4]). Nach Umfang und Kürze der Zeitspanne steht die Menschheit vor einer gewaltigen Aufgabe. Der Erfolg wird maßgeblich davon bestimmt sein, inwieweit das Ziel der Vollversorgung mit erneuerbaren Energien direkt angesteuert und wertvolle Zeit- bzw. Ressourcen-zehrende Fehlentwicklungen frühzeitig erkannt und vermieden werden können. Dabei kommt es darauf an,

- einerseits die - heute noch - hervorragend ausgebildete Infrastruktur der Industrieländer für den Umbau so gut wie möglich zu nutzen und
- andererseits die neu zu schaffenden Strukturen an den absehbar völlig unterschiedlichen Anforderungen des Solarzeitalters auszurichten.

Viele der zurzeit diskutierten bzw. geplanten Ziele und Maßnahmen greifen in dieser Hinsicht zu kurz. Eine übermäßige Fokussierung auf kurzfristige Zwischenziele nach dem Muster „Treibhausgase minus 40% bis 2020“ birgt die Gefahr von Fehlentwicklungen mit möglicherweise katastrophalen Folgen: Lösungen, die unter den jetzigen Bedingungen noch sinnvoll erscheinen, könnten sich beim Übergang ins Solarzeitalter als nutzlos oder sogar als kontraproduktiv erweisen. Solche Irrwege sind nur dann vermeidbar, wenn die Lösungsansätze von vorn herein an den Anforderungen des Solarzeitalters ausgerichtet werden.

Grundvoraussetzung für in diesem Sinne zukunftsfähige Lösungen ist die Beachtung der energetischen und stofflichen Gegebenheiten, der Naturgesetze und der voraussichtlichen technologischen Möglichkeiten. Unter diesem Blickwinkel sind im Folgenden zehn Kriterien zur Abschätzung der *Zukunftsfähigkeit* von Lösungsansätzen formuliert, jeweils begründet und mit Beispielen illustriert.

Der Zusatz '*dauerhafte*' Zukunftsfähigkeit weist darauf hin, dass es nach dem Ankommen im Solarzeitalter vor allem um den dauerhaften Bestand gehen wird - bereits bei den heutigen Entscheidungen sollte dies vorausschauend berücksichtigt werden.

### Verfügbarkeit der Energiequellen

Allein die erneuerbaren Energiequellen können als dauerhaft zukunftsfähig gelten:

- Zum einen die Solarstrahlung - direkt über Solarwärme und Solarstrom oder indirekt über Windkraft, Wasserkraft, Biomasse;
- zum anderen die Erdwärme.

Es sind heute keine anderen Quellen bekannt, die nach dem Niedergang der fossilen Energien und der Atomkraft *dauerhaft* zur Verfügung stehen könnten - mit einer Ausnahme, der Kernfusion. Doch selbst dann, wenn die Fusions-Technologie eines Tages nutzbar gemacht werden könnte, wäre sie weder rechtzeitig verfügbar noch nachhaltig (vgl. Wissenschaftliche Dienste des deutschen Bundestages [5]). Das heißt, die Menschheit wird innerhalb der nächsten Jahrzehnte lernen müssen, mit den solaren und geothermischen Quellen auszukommen.

Auf fossilen bzw. atomaren Quellen beruhende Übergangstechnologien sind kritisch zu bewerten, auch wenn sie eine effizientere Nutzung der knappen Vorräte ermöglichen:

- Wertvolle Materialien werden verbaut und knappes Kapital wird langfristig gebunden.
- Die Illusion wird genährt, der Abschied von den fossilen/atomaren Energieträgern ließe sich weit hinausschieben.
- Für die erforderliche drastische Senkung des Energieverbrauchs fehlen weiterhin die Anreize, wertvolle Zeit wird verschenkt.
- Die Klima- und Umweltbelastungen werden zwar etwas reduziert, aber dafür langfristig zementiert.

Daraus resultiert **Kriterium 1**:

*Dauerhaft zukunftsfähige Lösungen basieren auf der Kombination von erneuerbaren Energien mit Maßnahmen zur Effizienzsteigerung, sie kommen im Betrieb ohne Energie aus endlichen Quellen aus.*

#### **Kritische Beispiele:**

Kohlekraftwerke mit CO<sub>2</sub>-Abtrennung, fossil befeuerte Kraft-Wärme-Kopplungs-Anlagen, mit Kohle-/Atomstrom betriebene Wärmepumpen, Hybridfahrzeuge.

#### **Erfolgversprechendes Beispiel:**

Steigerungsraten der in Deutschland installierten Windstrom- und Solarstrom-Kapazitäten.

### **Akzeptable betriebliche Belastungen**

Wenn die Lösungen tatsächlich dauerhaft zukunftsfähig sein sollen, ist mehr erforderlich, als nur die Nutzung der natürlichen Energieströme und Effizienz:

- Eine ständig erforderliche Zufuhr von mineralischen Hilfsstoffen aus begrenzten Vorkommen (z. B. Mineräldünger) kann nicht auf Dauer, sondern allenfalls bis zur Erschöpfung der Lager aufrechterhalten werden.
- Die Leistungsfähigkeit des Naturhaushaltes bildet die Grundlage für die menschliche Existenz. Sie ist durch die exzessive Nutzung der fossilen und atomaren Energien bereits stark in Mitleidenschaft gezogen worden (zum Beispiel Bodenbelastung/Waldschäden, Klimawandel, atomare Verseuchung). Jeder längerfristig wirksame Schaden würde ein weiteres Stück der Existenzgrundlage zerstören, auch wenn dieser sich fast unmerklich erst über die Zeit kumuliert.
- Die nur während der Betriebsdauer der Anlagen wirksamen temporären Emissionen (z. B. visuelle Belastung oder Geräusche durch Windkraftanlagen) sind bei den Planungen ebenfalls zu berücksichtigen - die jeweils Betroffenen sollten die Freiheit besitzen, einen für sie befriedigenden Kompromiss zwischen Energiemenge und Umweltbelastung herbei zu führen. Kleinräumige Strukturen kommen dieser Forderung entgegen.

Daraus resultiert **Kriterium 2**:

*Dauerhaft zukunftsfähige Lösungen sind im Betrieb*  
*- ohne Verbrauch von Stoffen aus endlichen Vorkommen,*  
*- ohne kumulierende / langfristige Umweltveränderungen,*  
*- ohne inakzeptable temporäre Emissionen.*

#### **Kritisches Beispiel:**

Vernichtung von Regenwald z. B. in Brasilien oder auf Java, um Ölpalmen-Plantagen für die Biotreibstoffproduktion anzulegen - mit einschneidenden Folgen für das Klima und die Balance der globalen Ökosysteme.

#### **Erfolgversprechendes Beispiel:**

Verwertung der tierischen und pflanzlichen Abfälle in kleinen Biogas-Anlagen in indischen Dörfern: Durch Rückführung des ausgegorenen Substrats auf die Äcker bleibt der Nährstoffkreislauf geschlossen.

### **Vom Ausbeuten zum Auffangen**

Die weiteren Anforderungen an zukunftsgerechte Lösungen leiten sich aus den tief greifenden Konsequenzen ab, die der Übergang von den endlichen auf die erneuerbaren Energien mit sich bringen wird.

Die herkömmliche Energieversorgung ist vergleichsweise einfach, da sie größtenteils auf **Ausbeutung natürlicher Energiespeicher** (Kohle, Erdöl, Erdgas, Uran 238) basiert. Die Energie liegt bereits hochkonzentriert in stofflicher Form vor und weist damit ideale Nutzungseigenschaften auf. Sie

ist orts- und zeitunabhängig freizusetzen, sie ist leicht über weite Strecken transportierbar und auch für mobilen Einsatz gut geeignet (eine Ausnahme bildet hier das Uran). Die in der Erdrinde lagernden Stoffe brauchen lediglich zu Tage gefördert, aufbereitet, in Zwischenspeichern bereitgehalten und in bedarfsgerechter Menge zu den Orten des Verbrauchs transportiert werden. Dies war bisher zu niedrigen Kosten möglich.

Die Energieversorgung des kommenden Solarzeitalters wird dagegen auf dem **Auffangen und Veredeln natürlicher Energieströme** (Solarstrahlung direkt, Windkraft, Wasserkraft, Biomasse, Erdwärme) beruhen. Im Gegensatz zu den natürlichen *Energiespeichern* sind diese natürlichen *Energieströme*

- flächig über die Erde verteilt,
- in der Energiemenge pro Zeiteinheit und Fläche begrenzt,
- zeitlich schwankend,
- örtlich gebunden,
- beschränkt transportfähig,
- von relativ geringer Energiedichte und
- ohne Veredelung von geringem Nutzen für die wirtschaftliche Anwendung.

Um auch im Solarzeitalter Endenergie mit hohem Gebrauchswert bereitstellen zu können, wird sich die künftige Energiewirtschaft in einigen Punkten grundlegend von der heutigen unterscheiden:

- Zum Auffangen der natürlichen Energieströme sind großflächige Anlagen erforderlich (z. B. Solarflächen, Windparks, Biomasse-Anbauflächen), verbunden mit größerem Materialaufwand, erhöhten Kosten und Nutzungs-Konkurrenz (z. B. Biomasse- contra Nahrungsmittel-Produktion).
- Die zu gewinnenden Energiemengen pro Zeiteinheit und Auffangfläche sind durch die Intensität des Energiestroms von vorn herein begrenzt - und zwar auf einem Niveau, das weit unter dem heutigen Verbrauch liegen wird. Das trifft besonders auf die hoch entwickelten und dicht besiedelten Regionen der gemäßigten Klimazone zu. Ein weiteres Wachstum ist durch die natürlichen Grenzen ausgeschlossen.
- Zur Veredelung der aufgefangenen Energie sind zusätzliche Anlagen erforderlich (z. B. Stromspeicher, Wärmespeicher, Biogas-Anlagen), verbunden mit zusätzlichem Materialaufwand, erhöhten Kosten und Energieverlusten.
- Die Anlagen zum Auffangen und Veredeln arbeiten - wegen der zeitlichen Schwankungen unterworfenen Energieströme - meistens im Teillastbereich. Daraus resultieren noch einmal erhöhte Materialaufwände und Kapitalkosten für jede bereitgestellte Kilowattstunde.

Zusammengefasst: Die Menschheit, und hier vor allem die industrialisierte Welt, wird sich aller Voraussicht nach mit weit **weniger Energie** begnügen müssen, und das **zu höheren Kosten**.

Neben den direkt spürbaren Folgen für die privaten Energieverbraucher sind auch gravierende Rückwirkungen auf Industrie, Infrastruktur und damit auf die Wirtschaftskraft insgesamt wahrscheinlich, wiederum verbunden mit geänderten Randbedingungen für die Gewinnung und Nutzung erneuerbarer Energien (vgl. Richard Heinberg [6]). Zu rechnen ist in diesem Zusammenhang unter anderem mit einem Rückgang der Verfügbarkeit von

- Energieversorgungs-Netzen,
- Hilfsenergie für Bau und Betrieb von Anlagen,
- Bau- und Konstruktionsmaterialien,
- Produktionsketten, besonders im Bereich der Hochtechnologien.

Dies soll im Folgenden näher erläutert werden.

## Verfügbarkeit der Energiemengen

Während bisher praktisch beliebige Mengen an fossilen bzw. atomaren Energieträgern abgerufen werden konnten, sind der aus den natürlichen Energieströmen generierbaren Energiemenge pro Zeiteinheit natürliche Grenzen gesetzt. Wie viel Energie aus den verschiedenen Energieströmen gewonnen werden kann, hängt jeweils stark von den örtlichen Gegebenheiten ab. Da der heutige Energieverbrauch in den dicht besiedelten Regionen um ein Mehrfaches über dem Potenzial der erneuerbaren Energien liegt, wird die Lücke durch Einsparungen zu schließen sein (vgl. Bene Müller [7]).

Damit die verschiedenen Verbrauchergruppen sich mit ihren Zukunftsinvestitionen richtig positionieren können, benötigen sie realistische Informationen über Verteilung und Nutzung der begrenzten Potenziale. Wenn klar ist, wie viel Energie zur Verfügung gestellt werden kann, ergibt sich daraus,

welche Einsparungen einerseits durch technische Effizienz und andererseits durch Verhaltensänderungen zu erbringen sind.

Daraus resultiert **Kriterium 3**:

*Dauerhaft zukunftsfähige Lösungen basieren auf fundierten Abschätzungen der technisch erschließbaren Potenziale im Einsatzgebiet inklusive Verteilungs- und Nutzungskonzept.*

#### **Kritische Beispiele:**

Ansätze zum Treibstoffwechsel auf Wasserstoff (Brennstoffzelle) oder Biokraftstoffe ohne Klarheit darüber, welche Mengen davon im Solarzeitalter nachhaltig beschaffbar sein werden.

Mit dem Anstieg der Energiepreise wird in ländlichen Gebieten wieder verstärkt mit Holz geheizt. Für die bestehenden Gebäude mit geringem Wärmeschutz sind große Mengen Brennholz erforderlich, so dass mit den vorhandenen Potenzialen nur ein Bruchteil der gesamten Wohnfläche beheizt werden könnte (vgl. Bene Müller [7]).

#### **Erfolgversprechends Beispiel:**

Als erste Geschäftsaktivität der Firma solarcomplex GmbH nach Gründung wurde eine Potenzialstudie für die westliche Bodenseeregion erarbeitet [7], die seitdem als Grundlage für die strategischen Entscheidungen dient.

Wohngebäude im Niedrigenergie- bzw. Passivhaus-Standard sind inzwischen Stand der Technik. Aber erst mit flächendeckender Erhöhung des Dämmstandards genügen die vorhandenen Potenziale zur Vollversorgung sämtlicher Gebäude mit Wärme aus erneuerbaren Quellen.

### **Regionale Eigenständigkeit**

Die Lager der Kohle-, Erdöl-, Erdgas- und Uranvorkommen sind sehr ungleichmäßig über den Globus verteilt. Vom ungehinderten Zugang zu diesen Vorkommen ist besonders die Existenz der Industriestaaten in ihrer heutigen Form extrem abhängig. Diese beiden Faktoren bewirken zunehmend weltweite Spannungen, die immer häufiger zu bedrohlichen Krisen und verheerenden Kriegen eskalieren.

Die natürlichen Energieströme sind dagegen gleichmäßiger über die Erde verteilt. Das bietet von vorn herein bessere Chancen für gerechte Teilhabe aller Menschen, dauerhafte Versorgungssicherheit und ein friedlicheres Zusammenleben. Voraussetzung für die Nutzung dieser Chance ist allerdings, dass jede Region zumindest ihren Grundbedarf weitgehend unter Nutzung der heimischen Energieströme decken kann. Nur so können beim Übergang ins Solarzeitalter neue Formen von Ausbeutung, neue Abhängigkeiten, neue Konfliktpotenziale vermieden werden. Außerdem werden durch kurze Entfernungen zwischen Energiegewinnung und Verbrauch

- aufwändige Ferntransportwege entbehrlich,
- die Transportverluste minimiert,
- die regionale Wirtschaftskraft gestärkt.

Dazu ist die Abkehr von überkommenen kolonialen Denkmustern notwendig.

Die bisher übliche Fragestellung lautete:

- **Woher** bekommen wir **mehr Energie für** ständig **wachsende Wünsche?**

Zukunftsgerichtetes Denken spiegelt sich dagegen in einer geänderten Fragestellung:

- **Wieviel Energie** können wir den Energieströmen **in unserer Region** dauerhaft entnehmen? Und auf welche Weise können wir damit ein **Optimum an Bedürfnisbefriedigung** erreichen?

Daraus resultiert **Kriterium 4**:

*Dauerhaft zukunftsfähige Lösungen sind auf regionale Eigenständigkeit der Energieversorgung gerichtet, sie kommen weitgehend mit den heimischen Potenzialen aus.*

#### **Kritische Beispiele:**

Fälle von Regenwald- und Lebensraumvernichtung auf Java für Biodiesel aus Palmöl, Pläne für den Bezug von russischem Biogas über die vorhandenen Pipelines, Pläne für die Stromversorgung Europas durch große Solaranlagen in Nordafrika.

#### **Erfolgversprechendes Beispiel:**

Bestrebungen zahlreicher Unternehmen und Bürger im Landkreis Konstanz, die westliche Bodensee-Region bis zum Jahr 2030 weitgehend auf Energien dieser Region umzustellen; auf dem Weg zum

'Stadtwerk der Zukunft' hat das Bürgerunternehmen 'solarcomplex AG' bereits stattliche Erfolge vorzuweisen.

## Bestmögliche Energieeffizienz

Aus den natürlichen Energieströmen können im Vergleich zu fossilen und atomaren Brennstoffen nur begrenzte Mengen an Energie pro Zeiteinheit gewonnen und bereitgestellt werden. Da also Energie nicht mehr in beliebigen Mengen verfügbar gemacht werden kann, kommt dem effizienten Umgang damit umso größere Bedeutung zu.

Die meisten Systeme zur Energiebereitstellung bestehen aus einer Kette von Komponenten mit unterschiedlichen Aufgaben:

- Auffangen der natürlichen Energieströme,
- Wandlung in transport-, speicher- bzw. verwendungsfähige Energieformen,
- Transport vom Auffang-Ort zum Nutzungs-Ort,
- Speicherung von Überschüssen für Deckungslücken bzw. mobilen Einsatz.

Jede dieser Komponenten ist aus naturgesetzlichen bzw. technologischen Gründen mit Verlusten behaftet, die abgegebene Energie ist kleiner als die aufgenommene Energie. Es gilt, die Summe aller Verluste möglichst klein zu halten. Entscheidend ist somit ein möglichst hoher Wirkungsgrad - und zwar nicht nur bei einzelnen Komponenten, sondern über die gesamte Kette.

Für die Herstellung der technischen Einrichtungen, für deren Betrieb, Instandhaltung und Beseitigung inklusive Stoffrecycling ist der Einsatz von Energie erforderlich. Die Einrichtungen machen nur dann Sinn, wenn sie während ihrer Lebensdauer wesentlich mehr Energie gewinnen bzw. einsparen, als eingesetzt werden musste (energetische Amortisation lange vor Ende der Lebensdauer).

Daraus resultiert **Kriterium 5**:

*Dauerhaft zukunftsfähige Lösungen zeichnen sich durch einen optimalen Wirkungsgrad über die gesamte Kette von Energiewandlern, Transport- und Speicher-Einrichtungen aus und besitzen eine schnelle energetische Amortisation.*

### Kritisches Beispiel:

Die bisher übliche Verstromung von Biogas aus konventionell angebaute Biomasse ohne Wärmenutzung ist vom ökologischen Nutzen her fragwürdig: Auf der einen Seite müssen erhebliche Energiemengen für Anbau, Ernte, Kunstdünger und chemischen Pflanzenschutz aufgewendet werden, auf der anderen Seite wird mehr als die Hälfte der im Biogas enthaltenen Energie als Abwärme ungenutzt abgeleitet.

## Zeitgerechte Bereitstellung

Die fossilen und atomaren Energieträger boten bisher ideale Voraussetzungen, um auch bei zeitlich stark schwankendem Bedarf jederzeit volle Abdeckung zu erreichen. Die Fördermengen ließen sich dem Bedarf in weiten Grenzen anpassen. Solange die natürlichen Energiespeicher noch reich gefüllt waren, war das nur eine Frage der Förder-, Transport- und Aufbereitungs-Kapazitäten. Durch Bevorratung der schon von Natur aus stofflich gebundenen Energie war auch der Ausgleich kurzfristiger Bedarfsschwankungen verhältnismäßig einfach möglich.

Die aus natürlichen Energieströmen **aufgefangene Energie** weist in dieser Hinsicht weniger gute Eigenschaften auf - sie ist **nicht abrufbar**. Die jeweilige Momentanleistung ergibt sich vielmehr aus der Größe der Auffangfläche, dem Wandlungswirkungsgrad und der Intensität des Energiestromes:

- Die Auffangfläche ist durch die räumlichen Gegebenheiten, der Wandlungswirkungsgrad durch physikalische Gesetzmäßigkeiten und technologische Möglichkeiten begrenzt.
- Die Intensität der Energieströme ist meist unregelmäßigen **zeitlichen Schwankungen** unterworfen - zum Beispiel bei der Solarstrahlung je nach Tageszeit, Jahreszeit und Bewölkung, bei der Windströmung je nach Witterungsverhältnissen.

Da Energie für den Menschen nur dann einen Gebrauchswert hat, wenn sie zur rechten Zeit verfügbar ist, muss für einen Ausgleich zwischen Angebot und Bedarf gesorgt werden. Regelenergie aus fossilen und atomaren Quellen wird im Solarzeitalter dafür nicht mehr zur Verfügung stehen.

Verschiedene Methoden kommen in Betracht:

1. Speicherung; Vorteil: Erhalt der gewohnten Freizügigkeit bei der Energienutzung; Nachteile: Umwandlung in speicherfähige Energieformen notwendig - verbunden mit aufwändigen Anlagen und teilweise erheblichen Wandlungs- bzw. Speicherverlusten, Mangel an tauglichen Speichertechnologien, vor allem für mobilen Einsatz.

2. Erzeugermanagement drosselt Erzeugungsanlagen bei Überangebot; Vorteil: technisch einfach zu realisieren; Nachteile: Die begrenzten Potenziale können nicht voll ausgeschöpft werden, verringerte Auslastung der wertvollen Anlagen, keine Lösung für Zeiten mit Unterangebot.

3. Kombination verschiedener Energiequellen mit unterschiedlichen Leistungsprofilen; Vorteil: technisch einfach zu realisieren, Speicherkapazitäten können kleiner ausgelegt werden; Nachteil: ein vollständiger Ausgleich wird nicht erreicht, Speicher sind erforderlich.

4. Lastmanagement steuert bestimmte Energieverbraucher je nach Angebot; Vorteile: Eingesetzte Informationstechnologie ist wenig Material-intensiv, Speicherkapazitäten können kleiner ausgelegt werden; Nachteil: Einschränkungen bei der Nutzungsfreiheit sind in Kauf zu nehmen.

Daraus resultiert **Kriterium 6:**

*Dauerhaft zukunftsfähige Lösungen bringen die zeitlichen Verläufe von Energie-Angebot und Energie-Bedarf zur Deckung, ohne dafür Regelernergie aus fossilen oder atomaren Quellen zu verwenden.*

#### **Kritisches Beispiel:**

Bei Starkwind und damit hoher Windkraft-Einspeisung ins deutsche Stromnetz werden heute konventionelle Kraftwerke entsprechend heruntergefahren. In Schwachwindphasen decken sie dagegen den vollen Bedarf. Analog verhält es sich mit den Solarstromanlagen.

#### **Erfolgversprechendes Beispiel:**

Mit einem Kombikraftwerk, bestehend aus drei Windparks, 20 Solarstromanlagen, 4 Biogasanlagen und einem Pumpspeicherkraftwerk, konnten im Jahr 2006 praktisch demonstriert werden, dass ganzjährig eine bedarfsgerechte Stromversorgung allein mit erneuerbaren Energien möglich ist [8].

### **Realistische Planung von Speicherkapazitäten**

Speicher sind das Rückgrat von Systemen zur Nutzbarmachung natürlicher Energieströme. Die Speichertechnologien bilden derzeit das Nadelöhr für die weitere Erschließung der erneuerbaren Energien - ob es sich nun um leistungsfähige Akkus für Elektrofahrzeuge oder um Saisonspeicher für solare Gebäudeheizung handelt. Entsprechend intensiv ist die Diskussion verschiedener Konzepte in Fachkreisen. Dabei kommt es mitunter zu unrealistischen Einschätzungen durch offensichtliche Denkfehler, zum Beispiel bei der doppelten Verplanung von Speicherkapazität.

(Die *korrekte Bewertung der Speicherkapazitäten* wurde hier nicht als eigenes Kriterium aufgenommen).

#### **Kritische Beispiele:**

Es wird die Idee diskutiert, die Akkumulatoren einer künftigen Elektromobil-Flotte in den überwiegenden Stillstandszeiten zusätzlich als Speicher für das Stromnetz zu verwenden. Dabei blieb bisher unerwähnt, dass der Speicher durch die doppelte Verplanung der Speicherkapazität beiden zugeordneten Aufgaben nicht mehr voll gerecht werden kann: Jede Stromeinspeisung ins Netz reduziert die Reichweite der Fahrzeuge, jede Voll-Ladung zur Absicherung der maximal möglichen Reichweite verhindert die Aufnahme von Überschussstrom aus dem Netz.

Ganz ähnlich verhält es sich mit der Idee, die großen Kapazitäten vorhandener Speicherheizungen und Warmwasserspeicher für die Ausregelung von Schwankungen in der Windstromproduktion zu nutzen [9]. Hier müsste zusätzlich noch die zeitliche Dimension berücksichtigt werden.

Speicherverluste bewirken eine Selbstentladung innerhalb weniger Stunden oder Tage, während Schwachwindphasen oft wesentlich länger dauern. Ganz abgesehen davon, dass die herkömmlichen Speicheröfen in den hoch gedämmten Gebäuden des Solarzeitalters überflüssig sein werden und dass Strom für das schlichte Verheizen viel zu kostbar sein wird.

#### **Erfolgversprechendes Beispiel:**

Bei dem Ansatz, Windstrom-Überproduktion durch tieferes Herabkühlen von Kühlgut aufzufangen, handelt es sich dagegen nicht um eine doppelte Verplanung. Durch die Temperaturabsenkung, die für den primären Zweck der Kühlung nicht erforderlich ist, entsteht tatsächlich zusätzliche Speicherkapazität.

### **Kleinräumige autarke Strukturen**

Beispiel Stromversorgung: Das heutige großräumige Netz ist bedingt durch die punktuell in hoher Konzentration verfügbaren fossilen und atomaren Stoffe, die aus Gründen von Wirtschaftlichkeit,

Sicherheit und traditioneller Machtkonzentration in Verbraucher-fernen Großkraftwerken verstromt werden.

Die Randbedingungen ändern sich mit Übergang ins Solarzeitalter grundlegend: Energieströme geringer Konzentration werden großflächig in einer großen Zahl kleiner und kleinster Kraftwerke, überwiegend Verbraucher-nah, verstromt. Die Frage ist, inwieweit ein derartig hoch zentralisiertes Stromnetz später im Solarzeitalter

- noch stabil betrieben werden kann und gegebenenfalls
- weiterhin die günstigste Lösung darstellt.

Die Stabilität der heutigen Stromversorgung beruht auf der jederzeit schnellen Aktivierbarkeit großer Energiemengen, die bisher durch Ausbeutung der natürlichen Energiespeicher einfach und kostengünstig beschafft werden konnten. Die aus natürlichen Energieströmen aufgefangene Energie muss dagegen erst in eine stofflich gebundene, schnell aktivierbare Energieform umgewandelt werden, z. B. in Biogas oder Wasserstoff. Das ist aufwändig und mit erheblichen Umwandlungsverlusten verbunden. Selbst wenn große Netze beherrschbar bleiben sollten, könnten diese durch kleinräumigere Netze und weitgehend autarke Systeme stark entlastet werden. Weitere Vorteile:

- Enge Beziehung und besseres Verständnis der Nutzer zu ihrer übersichtlichen örtlichen Energieversorgung ist förderlich für den verantwortungsvollen Umgang mit dem begrenzten Energieangebot.
- Kleine Transportverluste auf den kurzen Übertragungstrecken.
- Geringere Stör- und Krisen-Anfälligkeit der dezentralen Einheiten

Daraus resultiert **Kriterium 7**:

*Dauerhaft zukunftsfähige Lösungen gewinnen an Stabilität und Effizienz durch kleinräumige autarke Strukturen mit minimierter Abhängigkeit von überregionalen Netzen.*

#### **Kritische Beispiele:**

Der größte Teil der heute gebräuchlichen Einrichtungen zur Energiegewinnung aus erneuerbaren Quellen ist bei Ausfall des öffentlichen Stromnetzes nicht mehr funktionstüchtig, zum Beispiel:

- Solarwärmanlagen (Umwälzpumpen, Steuerung), Holzpelletöfen (Beschickung, Steuerung), Raumluft-Wärmerückgewinnungs-Anlagen (Ventilatoren) - Strom aus dem Netz ist als Hilfsenergie unverzichtbar.
- Windkraftanlagen und Fotovoltaikanlagen erzeugen zwar selber Strom, arbeiten aber fast ausschließlich netzgeführt; Stromerzeugung bei Netzausfall ist nicht möglich, dies lässt sich aus konstruktiven Gründen auch nicht einfach nachrüsten.

Wegen der hohen Verfügbarkeit und Stabilität des Stromnetzes war dieser Sachverhalt bisher zwar praktisch ohne Bedeutung. Bei der absehbaren Verknappung fossiler / atomarer Energien ist allerdings auch mit sinkender Netzverfügbarkeit zu rechnen - das heißt mit zunehmenden Netzausfällen und Versorgungskrisen. Dies zeigen Erfahrungen in Wirtschaftskrisen geratener Länder wie zum Beispiel gegenwärtig dem Iran [10], in denen stundenlange Unterbrechungen der Stromlieferungen an der Tagesordnung sind. Damit wären große Teile der erneuerbaren Energiekapazitäten gerade dann lahm gelegt, wenn sie besonders dringend benötigt werden.

#### **Erfolgversprechendes Beispiel:**

In China wurde für die Warmwasserbereitung in den Haushalten in den vergangenen Jahren eine große Zahl einfacher Solaranlagen installiert, die ohne Hilfsenergie auskommen - der Transport des erwärmten Wassers vom Kollektor in den darüber liegenden Speicher erfolgt mit Hilfe der Schwerkraft.

### **Verfügbarkeit der Technologien**

Fünf Jahre nach dem Fördermaximum Ende 1998 war in den Ölfeldern Großbritanniens die förderbare Menge bereits um ein Drittel zurückgegangen [11]. Nach Studien der Ludwig-Bölkow-Stiftung im Auftrag der Energy Watch Group wurde das weltweite Fördermaximum bereits 2006 erreicht, seither stagniert die globale Erdölförderung trotz ständig steigender Nachfrage. Selbst die bisher stets um Verharmlosung bemühte Internationale Energie Agentur vertritt inzwischen diese Position und mahnt eine radikale Änderung der Energiewirtschaft an (vgl. Süddeutsche Zeitung [14]). Auch, wenn der nachfolgende Abfall weniger steil als in Großbritannien ausfällt, wird sich innerhalb weniger Jahre eine gewaltige Deckungslücke auftun. Ausweichbewegungen zu Erdgas, Atomenergie und Kohle werden nur sehr kurzfristig Entspannung bringen können - beschleunigt durch die verstärkte Ausbeutung

werden die Fördermaxima auch bei diesen Energieträgern wenige Jahre später erreicht sein (vgl. Energy Watch Group [12], [13]).

Wenn der Aufbau einer zukunftsfähigen Energieversorgung nicht halbwegs mit der wachsenden Deckungslücke Schritt halten kann, sind Zusammenbruch ganzer Industrien und katastrophale gesellschaftliche Umwälzungen vorprogrammiert. Dazu kommt der Handlungsdruck aus der Abwendung einer globalen Klimakatastrophe, für die die Klimaforschung ebenfalls nur noch ein Zeitfenster von wenigen Jahren sieht. In dieser Situation können nur solche Technologien zur Entspannung beitragen, die entweder bereits einsatzreif sind oder kurzfristig verfügbar gemacht werden können. Der zweite entscheidende Faktor ist eine möglichst kurze Bauzeit, hier sind die kleinen dezentralen Strukturen (z. B. Windkraft, Solarstrom) großen komplexen Anlagen weit überlegen.

Daraus resultiert **Kriterium 8:**

*Schnell realisierbare Lösungen und schnell verfügbare Technologien bieten am ehesten die Chance für einen reibungsarmen Übergang ins Solarzeitalter.*

#### **Kritisches Beispiel:**

Strom produzierende kommerzielle Fusionskraftwerke könnte es frühestens in 50 Jahren geben [5]. Bis dahin wird der Übergang in das zweite Solarzeitalter weitgehend vollzogen sein. Falls die kontrollierte Kernfusion überhaupt jemals beherrschbar würde, käme sie viel zu spät.

#### **Erfolgversprechendes Beispiel:**

Die Windkraft- und Solarstromtechnologie ist schon hoch entwickelt und in großem Maßstab erprobt. Der Bau solcher Anlagen ist innerhalb weniger Monate bzw. Wochen möglich, während bei Kohle- und Atomkraftwerken Vorlaufzeiten von ein bis zwei Jahrzehnten die Regel sind.

### **Verfügbarkeit der Materialien**

Der Umbau der Energieversorgung auf Erneuerbare Energien und Effizienz erfordert große Mengen an Bau- und Konstruktionsmaterialien. Verglichen mit dem herkömmlichen Energiesystem ist ein wesentlich höherer Materialaufwand pro jährlich bereitgestellter/eingesparter Kilowattstunde zu erwarten:

- Zum Auffangen der natürlichen Energieströme sind große Flächen zu überdecken. Witterungseinflüsse wie z. B. Wind- oder Schneelasten stellen hohe statische Anforderungen an die Konstruktionen, verbunden mit hohem Materialaufwand.
- Der Jahresnutzungsgrad ist wegen der Intensitätsschwankungen der natürlichen Energieströme sehr viel geringer als bei fossilen / atomaren Kraftwerken (z. B. Braunkohlekraftwerk ~ 6500 Volllaststunden pro Jahr [15], Windkraftanlage ~ 1600 [16], Solarstromanlage ~ 800 [16]). Die Anlagen zur Nutzung der Erneuerbaren arbeiten also überwiegend mit einem Bruchteil ihrer Nennleistung, während die in der Konstruktion gebundenen Materialmengen nach der Spitzenbelastung bemessen werden müssen.
- Die Notwendigkeit zur Speicherung der aufgefangenen Energie bringt, verglichen mit den bereits in gespeicherter Form vorliegenden fossilen Energien, erhebliche zusätzliche Materialaufwände mit sich, zum Beispiel für Akkumulatoren, Wärmespeicher, Wasserstoff-Drucktanks.

Zukunftsfähig können nur die Technologien sein, deren Materialbedarf auch im anzunehmenden globalen Vollausbau zu decken ist, wobei zudem konkurrierende Anwendungsbereiche für die Materialien zu beachten sind. Eine *dauerhafte* Zukunftsfähigkeit erfordert darüber hinaus, dass auch der Materialbedarf für den Ersatz der Anlagen jeweils nach Ende ihrer Lebensdauer immer wieder gedeckt werden kann. Dies kann entweder durch Verwendung nachwachsender Rohstoffe erreicht werden oder durch die Möglichkeit der weitgehenden Zurückgewinnung endlicher Stoffe aus Altanlagen. Über ausreichende Potenziale der Rohstoffe hinaus ist natürlich auch deren nachhaltige Verarbeitung im Herstellprozess Bedingung für eine dauerhafte Zukunftsfähigkeit.

Daraus resultiert **Kriterium 9:**

*Dauerhaft zukunftsfähige Lösungen bestehen aus nachhaltig hergestellten Materialien unter Verwendung von Rohstoffen*  
*- die entweder aus nachwachsender Produktion ohne unvertretbare Nutzungskonkurrenz stammen,*  
*- oder die - bei endlichen Stoffen - im Verhältnis zum Bedarf für den Vollausbau reichlich vorkommen und weitgehend zurück gewonnen werden können.*



### **Kritische Beispiele:**

Indium ist nach Angaben des U.S. Geological Survey wohl das erste Element, das innerhalb der nächsten Jahre weltweit zur Neige gehen wird [17]. Dessen ungeachtet wird in Solarfabriken zur Produktion von CIS-Zellen (Kupfer - Indium - Schwefel) kräftig investiert [18]. Die spätere Wiedergewinnung von Indium aus verbrauchten Zellen dürfte wegen der feinen Verteilung, wenn überhaupt, nur mit erheblichen Verlusten möglich sein.

Mit nachgewiesenen Vorkommen von 4,5 Millionen Tonnen weltweit zählt auch Lithium zu den seltenen Metallen [19]. In der Diskussion um die Technologie einer künftigen Elektro-Fahrzeug-Flotte stehen Lithium-Akkumulatoren wegen ihrer vorteilhaften Eigenschaften ganz oben. Fraglich ist aber, welche Speicherkapazität und somit globale Mobilitätsleistung damit allenfalls erzielt werden könnte. Übrigens würden nach heutigem Stand der Forschung auch die Fusionskraftwerke auf die begrenzten Lithium-Vorräte zugreifen: Lithium würde benötigt, um die Brennstoffkomponente Tritium zu erbrüten (vgl. [5]).

### **Erfolgversprechendes Beispiel:**

Die erforderliche Effizienzsteigerung der Gebäude durch Wärmedämmung ist zu einem großen Teil mit nachwachsenden Rohstoffen, wie zum Beispiel Stroh oder Hanffasern, möglich.

## **Verfügbarkeit der Produktionsketten**

Das heutige industrielle Wirtschaftssystem hat eine enorme Leistungskraft erreicht, auch mit der Fähigkeit zur Herstellung und Instandhaltung komplexester Energiesysteme. Wesentliche Voraussetzung dafür ist die leichte Verfügbarkeit von Stoffen, Wissen und großer Mengen an kostengünstiger Energie für die Produktionsprozesse – zu jeder Zeit an jedem Ort. Erst durch intensiven Gebrauch der fossilen Energien (vgl. Michael F. Jischa, [1], Kap. 1.5) wurde es möglich,

- im großen Stil Erze zu fördern und Metalle zu schmelzen,
- moderne Baustoffe, Kunststoffe und andere wichtige Chemikalien in großen Mengen herzustellen,
- mit der Mechanisierung der Landwirtschaft genügend Arbeitskräfte für die Industrielle Produktion frei zu bekommen und zu ernähren,
- mit der Automatisierung der industriellen Produktion genügend Kräfte für Aufbau und Verbreitung des Wissens frei zu bekommen, das zur Entwicklung und Beherrschung immer komplexerer Systeme erforderlich ist,
- mit leistungsfähigen und immer schnelleren Transportsystemen Stoffe und Informationen zu jeder Zeit an jedem Ort verfügbar zu machen.

Der vollständige Übergang auf erneuerbare Energien wird auch für die industrielle Produktion einschließlich der gesamten Infrastruktur bedeuten, dass sie mit wesentlich weniger Energie auskommen muss - vermutlich zu deutlich höheren Kosten. Dazu kommen noch Beschränkungen bei vielen anderen endlichen Rohstoffen und Stoffen mit nicht nachhaltigem Lebenszyklus (vgl. Richard Heinberg [6]). Zum Teil werden diese Beschränkungen sicher durch das in den letzten beiden Jahrhunderten enorm gewachsene Wissen in naturwissenschaftlichen und technologischen Bereich aufgefangen werden können. Allerdings erscheint es wenig wahrscheinlich, dass die Leistungskraft des industriellen Wirtschaftssystems unter diesen Bedingungen auf heutigem Niveau gehalten werden kann. Es ist vielmehr damit zu rechnen, dass mit den verfügbaren Energiemengen auch die zeitliche und örtliche Verfügbarkeit von Stoffen und Informationen erheblich zurückgeht. Damit würden die umgeschlagenen Stoff- und Informationsmengen sinken, eine erhebliche Verlangsamung des Wirtschaftsprozesses wäre die Folge. Aus dieser Sicht erscheint es als wahrscheinlich, dass einfache Technologien, Zuverlässigkeit, Langlebigkeit, einfache Instandsetzbarkeit durch Kräfte vor Ort und schlanke Ersatzteilhaltung durch Standardisierung stark an Bedeutung gewinnen werden.

Besonders bei den hoch komplexen Produktionsketten, wie zum Beispiel für elektronische Produkte, die erst durch perfektes Ineinandergreifen einer großen Zahl verschiedener Prozessschritte just in time möglich geworden sind, ist fraglich, inwieweit sie aufrechterhalten werden können. Produkte auf Basis von Hochtechnologie würden durch den möglichen Verlust von Produktionsketten eher betroffen sein, als einfache Technologien. Die Lösungen zur Sicherung des Grundbedarfs sollten deshalb auf möglichst einfachen Technologien basieren, während bei Lösungen der Komfortstufe ein zeitweiliger oder dauernder Verlust der Produktionsfähigkeit eher hingenommen werden könnte.

Daraus resultiert **Kriterium 10:**

*Dauerhaft zukunftsfähige Lösungen können auch unter den geänderten Randbedingungen des Solarzeitalters in Stand gehalten und bei Bedarf neu hergestellt werden.*

### **Kritisches Beispiel:**

Effiziente Windstrom- und Solarstrom-Gewinnung ist ohne Chip-Technologie kaum vorstellbar. Zudem ist die Überwachung und Wartung der vielen dezentralen Anlagen auf schnelle Kommunikations- und Transportsysteme angewiesen.

### **Erfolgsversprechendes Beispiel:**

Wärmedämmung, Ofenbau und Brennholzgewinnung sind notfalls ganz ohne industrielle Produkte möglich.

### **Autor**

*Hans-Heinrich Schmidt-Kanefendt ist Dipl.-Ing. der Elektrotechnik befasst sich als „kritischer Bürger“ seit Mitte der 1970er Jahre außerberuflich mit den Möglichkeiten einer zukunftsfähigen Energieversorgung und hat verschiedene Projekte mit Bürgerbeteiligung organisiert, u. a.: 1988 – 2002 ehrenamtlicher Energiebeauftragter der Stadt Vienenburg, 1993 Initiierung eines Bürgerwindparks, 1998 Modellstudie für die Vollversorgung der Stadt Vienenburg mit erneuerbaren Energiequellen, 2005 – 2008 Feldversuch zur energetischen Optimierung privater Haushalte.*

*Geplant ist die Weiterentwicklung des hier vorgestellten Ansatzes zu einer praktisch nutzbaren Methode. Ergebnisse werden unter <http://wattweg.net> verfügbar gemacht. Unter [info@wattweg.net](mailto:info@wattweg.net) kann eine Benachrichtigung per Newsletter angefordert werden.*

### **Literatur:**

- [1] Jischa, Michael F.: „Herausforderung Zukunft“, 2. Auflage (Spektrum Verlag 2005)
- [2] Scheer, Hermann: „Solare Weltwirtschaft“, 2. Auflage (Verlag Antje Kunstmann 1999)
- [3] Scheer, Hermann: „Energieautonomie“ (Verlag Antje Kunstmann 2005)
- [4] Gore, Al: „A Generational Challenge to Repower America“ (Solarbrief 3/2008, Seite 6 ff.)
- [5] Donner, Susanne / Hirschel, Claudia: „ITER – Internationaler Thermonuklearer Versuchsreaktor“ (Wissenschaftliche Dienste des deutschen Bundestages, Der aktuelle Begriff Nr. 56/05 vom 08.08.2005, [http://www.bundestag.de/wissen/analysen/2005/2005\\_08\\_08b.pdf](http://www.bundestag.de/wissen/analysen/2005/2005_08_08b.pdf))
- [6] Heinberg, Richard: „PEAK EVERYTHING“ (New Society Publishers, ISBN 978-0-86571-598-1, Auszüge in Energiedepesche September 2008, Seite 18 ff.)
- [7] Müller, Bene / Dippel, Hans-Jürgen: „Erneuerbare Energien in der Region Hegau/Bodensee“ (solarcomplex GmbH, 2001/2002)
- [8] Agentur für erneuerbare Energien: „Hintergrundpapier: Das Kombikraftwerk“ (Stand Mai 2008)
- [9] Stadler, Ingo: „Ein gigantisches Speicherpotenzial“ (Solarzeitalter 1/2008)
- [10] Cheheltan, Amir Hassan: „Im Land der Blumen und Nachtigallen“ (Süddeutsche Zeitung vom 18.06.2008)
- [11] Zittel, Dr. Werner / Schindler, Jörg: „Zukunft der weltweiten Erdölförderung“ (Energy Watch Group / Ludwig-Bölkow-Systemtechnik GmbH 2008)
- [12] Zittel, Dr. Werner / Schindler, Jörg: „COAL: RESOURCES AND FUTURE PRODUCTION“ (Energy Watch Group / Ludwig-Bölkow-Systemtechnik GmbH, März 2007)
- [13] Zittel, Dr. Werner / Schindler, Jörg: „URANIUM RESOURCES AND NUCLEAR ENERGY“ (Energy Watch Group / Ludwig-Bölkow-Systemtechnik GmbH, Dezember 2006)
- [14] Schrader, Christopher: „Am Scheideweg – Treibhausgase und Energiehunger – die Welt im Dilemma“ (Süddeutsche Zeitung, 13.11.2008, Seite 16)
- [15] Loreck, Charlotte: „Atomausstieg und Versorgungssicherheit“ (Umweltbundesamt, März 2008)
- [16] Kiefer, Klaus: „Umwelttarif der RWE – Monitoring-Bericht 2002“ (Frauenhofer-Institut für solare Energiesysteme 2003)
- [17] Christen, Markus: „Die stofflichen Grenzen des Wachstums“ (NZZ online vom 07.12.2005)
- [18] Weithöner, Henner: „Solarstrom am laufenden Band“ (neue energie 6/2008)
- [19] ABN AMRO Bank N. V.: „Global Rare Metals Mining Index Zertifikat“

### **Versionen**

- |            |  |
|------------|--|
| 16.07.2008 | Erstfassung  |
| 25.11.2008 | Kriterienreihenfolge geändert, Literaturliste ergänzt, kleine redaktionelle Änderungen |