

**Vision einer Schweizer
Energieversorgung mit Zukunft:
Ressourcen und Technologien**



Ein Beitrag zur Meinungsbildung

Grünbuch

Inhaltsverzeichnis

Zusammenfassung	2
1 Ausgangslage	3
1.1 <i>Klima und Knappheit als treibende Faktoren für eine Energiewende</i>	3
1.2 <i>Wirtschaftliche Prosperität und erneuerbare Energien</i>	3
1.3 <i>Das Vermächtnis an kommende Generationen</i>	4
1.4 <i>Blick nach vorne für die Exponenten in der Energiediskussion</i>	5
2 Schweizer Energieversorgung mit Zukunft – Verhalten	6
2.1 <i>Potenziale und Wirtschaftlichkeit erneuerbarer Energien</i>	6
2.2 <i>Rationales Verhalten als langfristige Strategie</i>	6
3 Schweizer Energieversorgung mit Zukunft – Ressourcen	7
3.1 <i>Erneuerbare Energiequellen in der Schweiz</i>	7
3.2 <i>Flächeneffiziente Energieproduktion mit Solarenergie</i>	7
3.3 <i>Keine übertriebene Hoffnungen in Biomasse</i>	8
4 Schweizer Energieversorgung mit Zukunft – Technologien	11
4.1 <i>Falsche Hoffnungen in unentdeckte Technologien</i>	11
4.2 <i>Der Energieverbrauch von Verkehr und Haushalten ist entscheidend</i>	11
4.3 <i>Elektrizität als Energieform der Zukunft</i>	11
4.4 <i>Effizienz in der Wärmeproduktion: Kein Feuer ohne Strom</i>	13
4.5 <i>Energieeffizienz in der Mobilität: Treibstoff vom Hausdach</i>	14
4.6 <i>Speicherlösungen für erneuerbare Energien</i>	17
4.7 <i>Biomasse im zukünftigen Schweizer Energiemix</i>	17
5 Zentral anfallende Energien zentral nutzen – dezentral anfallende Energien dezentral nutzen	21
5.1 <i>Technische und sozioökonomische Aspekte zentraler und dezentraler Kraftwerke</i>	21
5.2 <i>Angepasster Einsatz von Wärme-Kraft-Anlagen</i>	21
5.3 <i>Angepasste Lösungen für Stadt und Land</i>	22
6 Atomkraftwerke	23
7 Zukunftsschritte	25
Referenzen	27
Glossar	29

Herausgeberin:

Ökozentrum Langenbruck
Schwengiweg 12
4438 Langenbruck
Schweiz
Tel.+41 (0)62 387 31 11
Fax+41 (0)62 390 16 40
info@oekozentrum.ch
www.oekozentrum.ch

Autorenteam:

Michael Sattler, dipl. Biologe/dipl. Um-
weltingenieur NDS/FH (Leitung),
Christian Gaegauf, dipl. Ingenieur ETH/SIA;
Martin Schmid, dipl. Ingenieur FH;
Christoph Seiberth, dipl. Geograph/Ge-
schäftsleiter
Gestaltung: Alice Killenberger
Druck: typo AG, Basel

Mit freundlicher Unterstützung von



Vorwort

Woher sollen in Zukunft unser Treibstoff, unser Brennstoff und unsere Elektrizität kommen? Kein Zweifel, die Rahmenbedingungen für die schweizerische Energieversorgung werden sich verändern. Wir müssen neue Wege finden, damit wir in Zukunft mit diesen veränderten Rahmenbedingungen leben können. Die Entscheidungsträger im Energiebereich stehen vor grossen Herausforderungen. Sie brauchen eine integrale Sicht und müssen bei ihren Überlegungen eine Vielzahl von Faktoren berücksichtigen. Mit dem Grünbuch wollen wir sie bei der Entscheidungsfindung unterstützen. Wir analysieren die verfügbaren Ressourcen und Technologien und machen Vorschläge für eine nachhaltige Schweizer Energiezukunft. Der Fokus richtet sich auf die Frage der zu wählenden Entwicklungslinien und der zu treffenden Vorkehrungen.

Das Ökozentrum Langenbruck befasst sich seit 1979 mit erneuerbaren Energien. Wir haben viele Pionierprojekte mit Windenergie, Wasserkraft, Biomasse, Solarenergie und Mobilität verwirklicht und im Zuge dieser Arbeit wertvolle Erfahrungen und vielfältiges Wissen gewonnen. Wenn heute potente Unternehmen Projekte mit erneuerbaren Energien wie Windkraft oder Photovoltaik realisieren, dann stützen sie sich auf Grundlagen, die unter anderem vom Ökozentrum erarbeitet wurden. Auch in Zukunft wird das Ökozentrum die erneuerbaren Energien erforschen und an ihrer Nutzbarmachung arbeiten, es will in diesem Feld weiterhin Impulse geben und markante Akzente setzen. Es tut dies auch als Mitglied des brenet, dem Schweizer Kompetenznetzwerk für Gebäudetechnik und Erneuerbare Energien.

Die Technologien, die erneuerbare Energien erschliessen, sind vielfältig. Eine zielorientierte, effiziente Forschung und Entwicklung braucht langfristige Visionen. Welche Technologien werden einen substantiellen Beitrag zur künftigen Schweizer Energieversorgung leisten können? Welche Forschungsansätze versprechen relevante Antworten auf die Fragestellungen der Zukunft? Mit diesen Fragestellungen beschäftigen wir uns am Ökozentrum Langenbruck tagtäglich. Wir entwickeln visionäre Ideen und prüfen ihre Umsetzung in der Praxis. Das umsetzungsorientierte Kompetenznetzwerk brenet bildet dabei eine wichtige Plattform, um die im Grünbuch aufgeführten Aufgabenstellungen anzugehen. Die verschiedenen Kompetenzen der brenet-Institute versprechen interessante Synergien, um innovative Lösungsansätze in interdisziplinären Forschungsvorhaben zu entwickeln.

Das vorliegende Grünbuch soll, analog zu einem Grünbuch der EU-Kommission, als Diskussionspapier verstanden werden. Es soll für die öffentliche und wissenschaftliche Diskussion über eine zukunftsfähige Energieversorgung der Schweiz Impulse liefern. Wir wollen den Stand unseres Wissens weitergeben, um es in ein Szenario für eine zukunftsfähige Schweizer Energieversorgung einfliessen zu lassen.

Christoph Seiberth
Geschäftsführer

brenet

Building and Renewable Energies Network of Technology
Nationales Kompetenznetzwerk Gebäudetechnik und
Erneuerbare Energien

Zusammenfassung



Das vorliegende Grünbuch möchte einen Beitrag zur Meinungsbildung über die Schweizer Energiezukunft leisten.

Es ist Zeit für einen umfassenden Dialog über die Schweizer Energiezukunft. Das vorliegende Grünbuch möchte einen Beitrag zur Meinungsbildung leisten. Es präsentiert Fakten zu Ressourcen und Technologien und zeigt, welche Strategien daraus abgeleitet werden können.

Die weltweite Energieverknappung ist absehbar. Die Versorgung mit Energie wird zunehmend schwieriger. Daher braucht die Schweiz eine möglichst unabhängige Energieversorgung. Heute sind Entscheide zu fällen, die das Leben künftiger Generationen in grossem Masse prägen werden. Es gilt heute Lösungen zu suchen, die für künftige Generationen tragbar sind. Die Schweiz wird in Zukunft vermehrt auf ein rationelleres Verhalten der Verbraucherinnen und Verbraucher im Umgang mit Energie angewiesen sein. Diese Haltung muss mit Nachdruck gefördert werden. Zusätzlich müssen erneuerbare Energien intelligent kombiniert und mit effizienten Technologien genutzt werden.

Für unser tägliches Leben brauchen wir Energie, Nahrungsmittel und Rohstoffe für die stoffliche Nutzung. Die Produktion dieser „Lebens-Mittel“ muss integral angegangen werden. Die Ressourcenlage darf nicht ausschliesslich aus dem Blickwinkel der Energieproduktion betrachtet werden. Wir müssen uns bewusst werden, dass heute Nahrungsmittelproduktion und Energieproduktion in Konkurrenz zueinander stehen. Es gilt, flächeneffiziente Systeme für die Energieproduktion zu entwickeln, ohne die Bodenfruchtbarkeit zu gefährden.

Das Potenzial für erneuerbare Energien ist in der Schweiz anders als in vielen Ländern Europas. Das Potenzial an Wasserkraft ist grösser, das an Windkraft und Biomasse geringer. Ein hohes Potenzial bieten Solarthermie und Photovoltaik. Diese Art der Energieerzeugung ist besonders vorteilhaft, weil sie auf bereits überbauten Flächen installiert werden kann. Sie erfüllt deshalb die Ansprüche an eine flächeneffiziente Energieproduktion ideal.

Dem Energieträger Elektrizität kommt in der zukünftigen Energieversorgung eine zentrale Bedeutung zu. Fast alle Anlagen zur Nutzung von erneuerbaren Energien produzieren Elektrizität. Elektrizität kann den verschiedensten Anwendungen mit wenig Verlust zugeführt und in Nutzenergie umgewandelt werden, namentlich bei der Mobilität. Um dem zukünftigen Mehrbedarf an Elektrizität zu begegnen, muss allen voran die Photovoltaik mit ihrem enormen Potenzial und ihrer hohen Flächeneffizienz weiter ausgebaut werden. Zusätzlich muss in jedem Verbrennungsprozess durch Wärme-Kraft-Anlagen parallel Wärme und elektrische Energie erzeugt werden.

Die Energieträger müssen dem Versorgungsgebiet angepasst werden. Im ländlichen Raum steht die Nutzung des dezentral anfallenden Holzes im Vordergrund. Die dezentrale Nutzung wird von den Verbraucherinnen und Verbrauchern wahrgenommen und führt so zu einem sparsameren Umgang mit Energie. Dieser Effekt gleicht das Effizienzdefizit aus, das die dezentrale Nutzung gegenüber zentralen Grossanlagen hat. Energien, die zentral anfallen, wie beispielsweise Wärme und Strom von Kehrlichtverbrennungs- und Abwasserreinigungsanlagen oder Geothermie, werden dagegen mit Vorteil zentral im städtischen Umfeld eingesetzt.

1. Ausgangslage

1.1 Klima und Knappheit als treibende Faktoren für Energiewende

Das globale Klima verändert sich, die Temperaturen steigen. Die Folge sind Katastrophen, zum Beispiel Dürren und Überschwemmungen [1]. Klimaexperten sehen einen klaren Zusammenhang zwischen diesen Klimaphänomenen und den von unserer Zivilisation ausgestossenen Treibhausgasen [2]. Diese entstehen vor allem durch die Energiegewinnung aus fossilen Ressourcen (Erdöl, Erdgas, Kohle). Wir wissen nicht, welche weiteren Folgen die Klimaveränderungen haben werden. Im schlimmsten Fall könnten sie dazu führen, dass die Menschheit ihre Lebensgrundlagen auf diesem Planeten verliert.

Die Energiegewinnung aus fossilen Ressourcen wirkt sich aber nicht nur auf das globale Klima aus. Sie verschlechtert die Lebensqualität auch regional durch Luftverschmutzung (Ozon, Feinstaub) [3], Gewässerverschmutzung und Schadstoffablagerungen im Boden [4]. Mit den aktuellen Formen unserer Energieversorgung belasten wir die Umwelt. Viele der heute anstehenden Herausforderungen im Umweltbereich können wir mit einer nachhaltigen Energieversorgung bewältigen.

Die Beschaffung von Ressourcen ist oft Auslöser von kriegerischen Auseinandersetzungen. Verschiedene Konflikte in der Vergangenheit und heute lassen sich mit dem Zugang zu fossilen Ressourcen in Verbindung bringen. Beim Erdöl ist der kritische Zeitpunkt nicht seine Erschöpfung, sondern das Überschreiten des Fördermaximums. Danach nimmt die globale Ölfördermenge stetig ab. Wir leben im Zeitraum, wo dieser „Peak Oil“ überschritten wird. Es muss in Zukunft mit verstärkten Spannungen und Konflikten beim Wettlauf um die Ressource Erdöl gerechnet werden [5]. Nachhaltiger Umgang mit Ressourcen ist auch Friedensförderung.

Über 80 Prozent der Schweizer Energieversorgung basiert heute auf nicht erneuerbaren Quellen [6]. Wir müssen uns von diesen Energiequellen lösen, denn sie werden in naher Zukunft versiegen. Die Nachfrage seitens der Wirtschaft und der Konsumierenden steigt, die Ressourcen sind limitiert [7, 8]. Unser heutiger, hoher Energiekonsum kann nicht auf andere Länder ausgedehnt werden und auch nachfolgende Generationen werden nicht so viel Energie verbrauchen können wie wir. Der Energieverbrauch der Schweiz muss reduziert werden. Wenn er konstant bleibt oder gar weiter steigt, dann werden bereits in wenigen Jahren Engpässe in der Energieversorgung auftreten [9, 10, 11].

Selbst wenn wider Erwarten immer neue fossile Energiequellen erschlossen werden können, zwingen uns die Klimaveränderungen zu einer schnellen Abkehr von diesen Energieressourcen.

1.2 Wirtschaftliche Prosperität und erneuerbare Energien

Die Wirtschaft ist von einer gesicherten Rohstoffversorgung abhängig, Energie ist einer dieser Rohstoffe. Die Wirtschaftspolitik muss deshalb eine klare Strategie im Hinblick auf die zukünftige Energieversorgung entwickeln [10]. Ziel dieser



Neben der Endlichkeit fossiler Ressourcen zwingen heute auch die katastrophalen Folgen einer globalen Klimaerwärmung zum Handeln.

Strategie muss die langfristige Versorgungssicherheit und die Preisstabilität sein. Anzustreben ist eine möglichst unabhängige Energieversorgung. Die Schweiz verfügt nicht über fossile oder nukleare Energieressourcen. Diese Rohstoffe müssen importiert werden, und Rohstoffimporte sind immer mit Unsicherheiten in Bezug auf Verfügbarkeit und Preis verbunden. Wenn die Ressourcen knapp werden, werden sich diese Unsicherheiten verstärken. Auch der Import von erneuerbarer Energie ist problematisch. Aus ökologischer Sicht ist er prinzipiell erst dann sinnvoll, wenn der Energiebedarf im Exportland gedeckt ist.

Eine Politik, die langfristig eine möglichst unabhängige, sichere und preisstabile Versorgung mit Energie und anderen Rohstoffen anstrebt, stärkt den Wirtschaftsstandort Schweiz nachhaltig und fördert eine eigenständige, innovative Entwicklung.

Es wird allerdings in naher Zukunft nicht möglich sein, die Schweiz von importierter Energie unabhängig zu machen. Es wird deshalb eine Übergangsphase geben, in der sich fossile und erneuerbare Energien effizient ergänzen müssen.



Die Konsequenzen einer ineffizienten Energieversorgung aus nicht nachhaltigen Quellen wird die zukünftigen Generationen belasten.

1.3 Das Vermächtnis an kommende Generationen

Wir müssen in den nächsten Jahren im Bereich Energieversorgung Entscheidungen treffen, deren Konsequenzen weit in die Zukunft reichen: Welche Ressourcen wollen wir in Zukunft verwenden? Auf welche Technologien wollen wir setzen? Diese Entscheidungen haben einen massgebenden Einfluss auf den Umgang der Bevölkerung mit Energiefragen.

Durch intensives Ausschöpfen beschränkter Ressourcen können wir kurzfristig Geld sparen, die längerfristigen Kosten werden dadurch jedoch umso höher. Wir müssen jetzt mit der Vorsorge beginnen für die Zeit, wenn Erdöl, Erdgas, Kohle und Uran zur Neige gehen. Unsere Wirtschaft muss sich jetzt aus der Abhängigkeit von diesen vermeintlich preisgünstigen und jederzeit verfügbaren Energieträgern befreien. Gelingt das nicht, wird die Verknappung dieser Energieträger dramatische gesellschaftliche und wirtschaftliche Auswirkungen haben.

Wir können vielleicht die nächsten 50 Jahre ohne Effizienzmassnahmen und ohne erneuerbare Energien überstehen, aber den nachfolgenden Generationen drohen Knappheit, Klimakatastrophen und ein Kampf um die verbleibenden Ressourcen. Wir müssen unsere heute noch günstigen Rahmenbedingungen nutzen, um in innovative Technologien und nachhaltige Energiequellen zu investieren.

Der Politik obliegt die Aufgabe, die Anliegen der zukünftigen Generationen bereits heute zu vertreten. Sie muss mit Weitsicht die Konsequenzen des heutigen Handelns aufzeigen und Wege finden, die vorhandenen Ressourcen umsichtig zu verwalten und nachhaltige Innovationen anzustossen.

Verbreitete Ineffizienz verursacht hohe Kosten

Die Ineffizienz im heutigen Umgang mit endlichen Ressourcen ist bedenklich:

- Mit der ungenutzten Abwärme des Verkehrs könnten sämtliche Haushalte in der Schweiz beheizt werden.
- Der Mehrverbrauch einer Geländelimousine gegenüber einem Kleinwagen versorgt zwei Minergiehäuser mit Wärme.
- Einfache Effizienzmassnahmen ohne Komforteinbussen wie die konsequente Umstellung auf Stromsparlampen sparen elektrische Energie in der Gröszenordnung der Jahresproduktion des AKW Mühleberg ein [12].

Die Folgen dieser Ineffizienz sind Klimawandel, Ressourcenknappheit und langfristig hohe Kosten. Die Konsequenzen haben die kommenden Generationen zu tragen.

1.4 Blick nach vorne für die Exponenten in der Energiediskussion

Die Umstellung auf erneuerbare Energien ist zwingend. Wir müssen deshalb nicht fragen, ob eine Energieversorgung aus erneuerbaren Ressourcen realistisch ist. Wir müssen entscheiden, wie schnell und mit welchen Mitteln wir diese Umstellungen bewerkstelligen können. Wir müssen überlegen, wie wir unsere Technologien und Bedürfnisse den Potenzialen der erneuerbaren Energien anpassen können. Wenn das Potenzial der erneuerbaren Energien heute nur zögerlich erschlossen wird, so liegt das weniger an technischen Einschränkungen als an eingeschliffenen Denkmustern, von denen wir uns nur schlecht lösen können.

Klar ist, dass der Schweizer Energiemix nicht sofort komplett auf erneuerbare Energien umgestellt werden kann. Mit neuen Atom- und Gaskraftwerken können wir allerdings die anstehenden Energieprobleme auch nicht lösen. Wir werden auch in den kommenden Jahrzehnten nichterneuerbare Energien nutzen müssen. Gleichzeitig müssen wir jedoch Wege finden, um den Anteil erneuerbarer Energien zu vergrössern und den Energieverbrauch durch Effizienzsteigerung zu senken.

Um diese schwierigen Probleme lösen zu können, müssen wir einen offenen und konstruktiven Dialog über alle Interessenlager hinweg führen.

Dialog mit Weitsicht

Die Umstellung auf erneuerbare Energien ist zwingend. Für die Fragen nach dem Zeithorizont und dem Weg für diese Umstellung braucht es einen intensiven und offenen Dialog.



Die Umstellung auf erneuerbare Energien muss intensiv und mit Weitsicht diskutiert werden.

2. Schweizer Energieversorgung mit Zukunft – Verhalten

2.1 Potenziale und Wirtschaftlichkeit erneuerbarer Energien

Studien zum Potenzial erneuerbarer Energien berücksichtigen das technisch mögliche und ökologisch vertretbare Potenzial und begrenzen dieses anschliessend durch wirtschaftliche Vorgaben. Gerade diese wirtschaftlichen Vorgaben sind aber kritisch zu hinterfragen. Während technische und ökologische Potenziale abgeschätzt werden können, ist eine verlässliche Prognose über künftige wirtschaftliche Rahmenbedingungen in Zeiten rasanter globaler Veränderungen sehr schwer zu machen.

Unbestritten ist, dass bei den heutigen Energiekosten die weltweite Nachfrage nach Energie in naher Zukunft das Angebot übersteigen wird. Da Energie ein bestimmender Faktor der heutigen Gesellschaftsentwicklung ist, kann davon ausgegangen werden, dass sich in absehbarer Zeit auch teurere erneuerbare Energien im grösseren Ausmass etablieren können. Entscheidend in diesem Zusammenhang ist vor allem die Frage, welchen monetären und ökologischen Preis die Gesellschaft heute und in Zukunft für die Deckung ihres Energiebedarfs bezahlen will. Grundsätzlich darf die energetische Nutzung einer Ressource nicht die Nahrungsmittelproduktion konkurrieren.

Preis als limitierender Faktor

Die breite Nutzung erneuerbarer Energien wird heute durch die fehlende Wirtschaftlichkeit verhindert. Die zunehmende Energieknappheit verschiebt die Wirtschaftlichkeit zugunsten der erneuerbaren Energien. Dadurch vergrössert sich ihr Potenzial.

Die zunehmende Energieknappheit verbessert die Wirtschaftlichkeit erneuerbarer Energien. Damit vergrössert sich auch ihr Potenzial.

2.2 Rationales Verhalten als langfristige Strategie

Unsere heutigen Energiebedürfnisse werden langfristig nicht abzudecken sein, weder aus fossilen noch aus atomaren noch aus erneuerbaren Energiequellen. Unser Energieverbrauch ist zu hoch. Wir müssen umdenken und unser Verhalten ändern. Wir müssen lernen, rationell mit Energie umzugehen. Dieser rationelle Umgang mit Energie hat erste Priorität auf dem Weg zu einer nachhaltigen Energieversorgung der Schweiz, er wird von verschiedenen Vereinen, Stiftungen, Universitäten und Behörden propagiert. Wir müssen uns unseres Energieverbrauchs im Alltag wieder bewusst werden, er muss rationeller werden in den Bereichen Konsum, Mobilität und Wohnen [13]. Das Ziel muss die 2000-Watt-Gesellschaft sein [14, 15].

Die nachhaltigste Energie ist diejenige, die eingespart wird, die also gar nicht erst bereitgestellt werden muss. Das Sparpostulat hat höchste Priorität, die Bemühungen um die Förderung erneuerbarer Energiequellen stehen erst an zweiter Stelle. Andererseits ist zu berücksichtigen, dass sich die Denk- und Verhaltensmuster nur sehr langsam verändern, während die Akzeptanz gegenüber neuen Technologien relativ hoch ist.

3. Schweizer Energieversorgung mit Zukunft – Ressourcen

3.1 Erneuerbare Energiequellen in der Schweiz

Die Schweiz hat einen beachtlichen Anteil an erneuerbaren Energien in ihrem Energiemix. Über 16 Prozent des Endenergieverbrauchs stammen aus erneuerbaren Quellen, davon ca. 70 Prozent aus der Wasserkraft [6]. Die Potenziale für erneuerbare Energien in der Schweiz sind bedeutend. Klare Potenzialbegrenzungen wie Ressourcenlage, ökologische Verträglichkeit und Landschaftsschutz liegen bei der Wasserkraft, Biomasse und Windenergie vor. Bei Solarenergie und Geothermie wird das Potenzial nur durch die aus heutiger Sicht fehlende Rentabilität begrenzt.

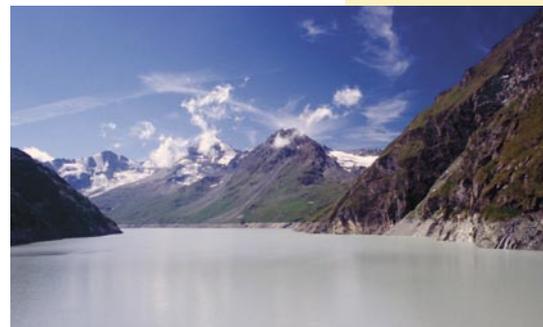
Das Potenzial der Wasserkraft ist bereits grösstenteils erschlossen. Kleinwasserkraftwerke und technologische Verbesserungen der bestehenden Grossanlagen können die Elektrizitätsproduktion aus Wasserkraft noch um wenige Prozentpunkte steigern. Windenergie besitzt in der Schweiz ein nicht zu vernachlässigendes Potenzial. Auch die Energiegewinnung aus Biomasse hat Potenzial, es gibt aber eine klare ökologische Nutzungsgrenze. Geothermie besitzt ein grosses Potenzial. Nach den Erfahrungen in Basel muss über die seismologischen Auswirkungen dieser Technologie Klarheit geschaffen werden.

Aus Biomasse kann etwa der gleiche Energieanteil gewonnen werden wie aus Wasserkraft. Windenergie wird einen deutlich kleineren Beitrag leisten. Das Potenzial der Solarenergie und Geothermie ist beinahe unbeschränkt [16]. Diese Ressourcen werden die Schweiz in nennenswertem Umfang und ohne ökologische Beeinträchtigungen mit neuen erneuerbaren Energien versorgen können.

3.2 Flächeneffiziente Energieproduktion mit Solarenergie

Die Landfläche in der Schweiz ist begrenzt, sie muss möglichst effizient genutzt werden. Die Solarenergie erfüllt diese Vorgabe ideal. Sie bietet die Möglichkeit, auf der durch Siedlungsbau versiegelten Fläche Energie zu produzieren, ohne die Nahrungsmittelproduktion auf fruchtbarem Boden zu konkurrieren. Auf einem Quadratmeter Photovoltaikfläche können in der Schweiz jährlich über 100 kWh elektrische Energie produziert werden [17]. Biomasse erzeugt auf derselben Fläche eine Energiemenge von lediglich 1-5 kWh [18]. Dabei ist zu beachten, dass die Energie aus Photovoltaik in Form von Elektrizität anfällt, und die Biomasse primär Brenn- oder Treibstoff liefert. Ohne Gewichtung auf Grund unterschiedlicher Energiewertigkeit ist eine Photovoltaikanlage somit bis zu hundertmal effizienter pro Flächeneinheit als Energie aus Biomasse. Der Vergleich zwischen Elektrizität aus Biomasse und Elektrizität aus Photovoltaik zeigt, dass der Ertrag aus Photovoltaikanlagen pro Fläche bis zu 300-mal höher ist als die Elektrizitätsproduktion aus Biomasse.

Das grösste Problem der Solarenergie ist die Speicherung. Photovoltaikstrom wird nur produziert, wenn die Sonne scheint und muss über längere Zeit gespeichert werden. Die Stromspeicherung lässt sich heute mit Verlusten von 20–30 Prozent bewerkstelligen.



Die Schweiz hat ein grosses Potenzial an erneuerbaren Energien. Speicherkraftwerke ergänzen die ungleichmässig anfallende Energie aus erneuerbaren Quellen ideal. (v.o.: Solar-, Wasserkraft-, Wind- und Biomasseenergie, Geothermie)



1 m² Rapskultur = 1 kWh Energie pro Jahr



1 m² Solarkollektoren = 100 kWh Energie pro Jahr



Biomasse-Energie ist vielseitig einsetzbar, die Flächeneffizienz für eine vermehrte Energieproduktion aber ungenügend. Solarkollektoren (thermisch und elektrisch) liefern pro Flächeneinheit 100-mal mehr Energie als Biomasse und können auf bereits versiegelter Fläche installiert werden. So kann eine Konkurrenzsituation zwischen Energie- und Nahrungsmittelproduktion vermieden werden.

Die Ökobilanzbetrachtungen von Photovoltaikanlagen zeigen ein äusserst positives Bild [17]. Und mit der Weiterentwicklung der Dünnschichtzellen-Technologie verbessert sich nicht nur die Ökobilanz weiter, sondern auch die Integrationsfähigkeit in die Gebäudeoberfläche.

Solarenergie ist 100-mal flächeneffizienter als Biomasse

Die zur Verfügung stehende Fläche muss effizient für die Bedürfnisse des täglichen Lebens genutzt werden. Bei einem Vergleich der Energiemenge, die pro Flächeneinheit und Jahr produziert wird, ist die Solarenergie 100-mal ergiebiger als Energie aus Biomasse.

3.3 Keine übertriebene Hoffnungen in Biomasse

3.3.1 Biomassepotenziale sind beschränkt

Die Nachfrage nach Energie aus Biomasse ist sehr hoch, viel höher als die Nachfrage nach anderen erneuerbaren Energien. Die Gründe dafür liegen auf der Hand: Biomasse bietet die Möglichkeit, einen raffinierten Energieträger mit hoher Energiedichte und normierten Spezifikationen herzustellen und diesen zu speichern. So ist Holz in Pelletform einfach in der Handhabung und emissionsarm in der Verbrennung. Weiter kann aus Biomasse flüssiger Treibstoff gewonnen werden, dessen chemische Eigenschaften denjenigen von Dieselöl oder Benzin entsprechen. Dieser Treibstoff kann dann problemlos in bestehenden Motortechnologien eingesetzt werden. Neben der einfachen Einbindung in bestehende Strukturen kommt hinzu, dass Biomasse-Energie für viele Anwendungen zur Zeit die kostengünstigste Variante darstellt.

Biomasse-Energie ist somit anwendungsfreundlich, preisgünstig und erst noch erneuerbar. Diese Voraussetzungen würden Biomasse zum idealen Energieträger der Zukunft machen, doch ist leider das Potenzial beschränkt.

Mit Biomasse decken wir viele Bedürfnisse des täglichen Lebens ab. Als Nahrungsmittel und als Rohstoff für die energetische und stoffliche Nutzung ist Biomasse ein „Lebens-Mittel“ im umfassenden Sinne. Die nachhaltige Produktion von Lebens-Mitteln aus Biomasse ist Ziel von Forschung und Politik. Das Anliegen dieses Grünbuches ist es, durchgängige Wege für die energetische Verwertung von Biomasse aufzuzeigen, ohne die Produktion von Nahrungsmitteln und Rohstoffen für die stoffliche Verwertung zu gefährden oder zu schmälern. Unter diesen Voraussetzungen wird aber deutlich, dass das Potenzial der Energie aus Biomasse beschränkt ist.

Das unter ökologischen Gesichtspunkten erschliessbare energetische Potenzial aus Biomasse in der Schweiz beträgt etwa 14 Prozent des heutigen Gesamtenergieverbrauchs [19]. Auch in anderen europäischen Ländern übersteigen die energetischen Potenziale aus Biomasse nur selten 20 Prozent des Gesamtenergieverbrauchs [20]. Diese Potenziale liegen zum grössten Teil in den Holzsortimenten sowie in den grünen Reststoffen aus Landwirtschaft, Industrie und Haushalt.

Das Potenzial der Biomasse bleibt begrenzt, eine übermässige Ausbeutung dieser Ressource würde auf Kosten der Ökologie oder der Nahrungsmittelproduktion erfolgen.

Biomasse als Nahrungsmittel und stofflicher Rohstoff

Oberste Priorität hat die ökonomisch und ökologisch sinnvolle, effiziente Verwertung von Biomasse aus Reststoffen. Biomasse sollte primär als Nahrungsmittel und als stofflicher Rohstoff genutzt werden. Erst die bei der Verarbeitung von Biomasse entstehenden Reststoffe sollten dann energetisch verwertet werden. Diese kaskadische Nutzung ist für sämtliche Biomasse anzustreben.

3.3.2 Anzeichen von Ressourcenkonkurrenz bei der Biomasse

Die Ressource Biomasse ist bereits heute ein knappes Gut. In verschiedenen Ländern rund um den Globus gibt es klare Indizien von Ressourcenkonkurrenz bei der Biomasse. So wird in Deutschland für den Rapsanbau bereits heute über 80 Prozent der maximal möglichen Produktionsfläche genutzt. Der produzierte Raps wird überwiegend zu Agrotreibstoff verarbeitet [21]. Im Gegenzug hat sich das Rapsspeiseöl erheblich verteuert. Die brasilianische Ethanolproduktion aus Zuckerrohr verdrängt zunehmend die Produktion von Nahrungsmitteln. Und die Aufrechterhaltung der Sojaproduktion ist oft nur noch durch Rodung und Erschließung neuer Pflanzflächen möglich [22]. Europäische Spirituosenhersteller klagen über Rohstoffmangel, der unter anderem mit der Rohstoffkonkurrenz für die Treibstoffproduktion begründet wird [23]. Auch für Rohstoffe der Bauindustrie ergeben sich erste Versorgungsengpässe. So meldet China einen Bauholzbedarf an, der nicht aus eigenen Quellen gedeckt werden kann [24]. Der Ausverkauf der Biomasse hat bereits begonnen. Verlierer im heutigen Spiel sind die Bodenfruchtbarkeit und die Nahrungsmittelproduktion.

Ressourcenkonkurrenz bei der Biomasse

Der Ausverkauf der Biomasse ist in vollem Gange. Das Energiepotenzial aus Biomasse ist in einigen Ländern bereits ausgeschöpft. Eine Produktionssteigerung ist nur mit zusätzlicher Flächenbereitstellung und intensivierten Anbaumethoden möglich.

3.3.3 Intensivkulturen in der Landwirtschaft sind keine Lösung

Die Nachfrage nach Energie aus Biomasse übersteigt das Produktionspotenzial bei weitem. Schnell erschliessbare und preisgünstige Biomassepotenziale finden sich heute primär in der Landwirtschaft. Vor allem der Anbau von Raps für die Weiterverarbeitung zu Agrotreibstoff sowie Energiemais für Biogasanlagen und Ethanolproduktion sind finanziell gewinnbringende Kulturen. Leider bergen diese Kulturen auch das Risiko, den Boden dauerhaft zu schädigen. Bodenverdichtung, Erosion, Schadstoffeinlagerung und ein übermäßiger Wasserbedarf sind häufige Begleiterscheinungen dieser Intensiv-Energiekulturen [25, 26].

Zusätzlich wird die Nahrungsmittelproduktion zurückgedrängt. Die Ausweitung der Energieproduktion mit Anbaubiomasse auf Landwirtschaftsflächen hat nur ein beschränktes Potenzial, dass bei weitem nicht ausreicht, um den heutigen Treibstoffbedarf zu decken. Ungeachtet dieser Tatsache wird heute Treibstoff aus Biomasse vielfach als „die Lösung“ präsentiert – mit katastrophalen, irreversiblen



Die unbremste Nachfrage bei der Biomasse hat verheerende Folgen für die Ökosysteme.



Der fortschreitende Verlust an fruchtbarem Ackerland als Folge von intensiver Landwirtschaft und Klimawandel ist langfristig gravierend. Eine Wiederherstellung verlorener Bodenfruchtbarkeit ist praktisch nicht möglich.

Folgen für die landwirtschaftlichen Böden und die Nahrungsmittelproduktion. Eine Biomasseproduktion in der Landwirtschaft, die blind auf maximale Erträge ausgerichtet ist, droht unsere Lebensgrundlage Boden zu zerstören.

Mit nachhaltigen Landbaumethoden kann durchaus eine begrenzte Menge Biomasse-Energie von Ackerflächen gewonnen werden. Angepasste Landbausysteme wie in die Fruchtfolge integrierte Energiekulturen oder im Mischfruchtssystem angebaute Ölsaaten oder Begrünungssysteme können eine weitere Zerstörung der Lebensgrundlage Boden verhindern, allerdings nicht bei heutigem Anspruch auf höchsten Flächenertrag und Profit [27]. Die Hoffnung, dass Biomasse in Zukunft unsere Häuser heizt, unsere Autos antreibt und zusätzlich noch den Elektrizitätsbedarf deckt ist nicht berechtigt.

3.3.4 Die Ressource Boden verlangt höchste Aufmerksamkeit

Heute werden energetische und stoffliche Rohstoffe grösstenteils durch fossile Rohstoffe aus unterirdischen Lagerstätten mit geringem Flächenverbrauch bereitgestellt. Wenn die fossilen Ressourcen zur Neige gehen, werden zunehmend Flächen mit fruchtbarem Boden für die Produktion von stofflichen Rohstoffen und Energie benötigt. Die Konkurrenz um fruchtbaren Boden ist äusserst besorgniserregend. Bis heute war nur die Nahrungsmittelproduktion auf fruchtbaren Boden angewiesen. In naher Zukunft wird auch die Gewinnung von energetischen und stofflichen Rohstoffen als Ersatz für fossile Rohstoffe vermehrt auf fruchtbaren Boden angewiesen sein. Die Umstellung von einer intensiven Nahrungsmittelproduktion zu einer intensiven Rohstoffproduktion in der Landwirtschaft reduziert die Belastung des Bodens nicht. Auch die Landbaumethoden in der Schweiz verursachen Bodenverdichtung, Erosion und Schadstoffablagerungen, die längerfristig nicht reversibel sind [4]. Ein intakter Boden bildet die Voraussetzung für sauberes Wasser, saubere Luft und hohe Biodiversität. Fruchtbarer Boden ist eine der wertvollsten Ressourcen der Zukunft. Mit der heutigen Intensivlandwirtschaft wird diese Ressource zerstört.

Die Fläche an fruchtbarem Boden wird auch durch weitere Prozesse fortlaufend reduziert. In der Schweiz wird durch die Bautätigkeit etwa ein Quadratmeter Boden pro Sekunde dauerhaft versiegelt [28]. Auch bei globaler Betrachtung reduzieren eine wachsende Bevölkerung sowie Ackerlandverluste durch klimabedingte Unwetter, Überschwemmungen, Desertifikation, Wassermangel und ansteigenden Meeresspiegel die fruchtbare Ackerfläche. Die Fläche an fruchtbarem Boden pro Person reduziert sich fortlaufend [29]. Weltweit und auch in der Schweiz gibt es kaum genug Ackerfläche für die langfristige Sicherung der Nahrungsmittelversorgung. In der Konkurrenzsituation zwischen Nahrungsmittel und Energie ist der Nahrungsmittelproduktion in jedem Fall der Vorrang einzuräumen. Der begrenzende Faktor im postfossilen und postnuklearen Zeitalter wird die verfügbare Fläche an fruchtbarem Boden sein.

Die Nachfrage nach Biomasse-Energie kann nicht befriedigt werden

Eine auf maximale Erträge ausgerichtete Biomasseproduktion ist begleitet von Bodenerosion, Bodenverdichtung, Schadstoffeintrag und übermässigem Wasserbedarf. Die lebenswichtige Ressource Boden kann so dauerhaft zerstört werden.

4 Schweizer Energieversorgung mit Zukunft – Technologien

4.1 Falsche Hoffnungen in unentdeckte Technologien

Es ist heute absehbar, dass in der Zeitspanne bis zum Auftreten der ersten Energieengpässe keine komplett neuen Technologien entwickelt werden können, um die Energieversorgung der Welt nachhaltig zu sichern. Wir werden die Substitution der fossilen und nuklearen Ressourcen mit heute verfügbarer Technologie bewerkstelligen müssen. Wir dürfen keinesfalls auf Technologien setzen, die angeblich in zwanzig oder fünfzig Jahren funktionieren werden. Wir würden damit ein grosses Risiko eingehen. Wir müssen uns auf die vorhandenen Technologien und auf die bekannten Ressourcen abstützen. Es gilt, den besten Weg für die Bereitstellung von Nutzenergie zu wählen, der uns einerseits durch die Übergangszeit führt und andererseits die Energieversorgung auch nach dem fossilen und nuklearen Zeitalter sicher stellt. Die technischen Rahmenbedingungen sind heute schon bekannt, die Geschwindigkeit der Umstellung auf erneuerbare Energien wird von der Politik sowie den Konsumentinnen und Konsumenten bestimmt.

4.2 Energieverbrauch von Verkehr und Haushalten ist entscheidend

Die grössten Endverbraucher von Energie in der Schweiz sind der Verkehr und die Haushalte. Der Schwerpunkt dieses Grünbuchs liegt deshalb in der Versorgung dieser Verbraucher mit erneuerbarer Energie. Dabei wird ersichtlich, dass sich Produktionspotenzial, Speichersysteme und Energiebedarf der Bereiche Verkehr und Haushalt ideal ergänzen.

4.3 Elektrizität als Energieform der Zukunft

Neben der Frage, woher die Energie in Zukunft kommen wird, ist auch die Art des Energieträgers und des Energietransports zu bestimmen. Erdgas und Erdöl sind Energieträger mit grosser Energiedichte, die effizient über weite Strecken transportiert werden können. In Zukunft werden wir zunehmend auf diese einfach zu handhabende Energieform verzichten müssen. Als mögliche Nachfolger werden vor allem Wasserstoff und Elektrizität genannt. Viele Argumente sprechen für die Elektrizität als Energieform der Zukunft.

Elektrizität

- Die meisten etablierten erneuerbaren Energiequellen mit grösserem Potenzial produzieren primär elektrische Energie. So entsteht bei Photovoltaik-, Windkraft- und Wasserkraftanlagen (inkl. Wellen- und Gezeitenanlagen) ausschliesslich elektrische Energie. Bei Geothermie- und Biomassenutzung wird neben der Wärmeproduktion zusätzlich elektrische Energie erzeugt. Produktionsseitig ist Elektrizität bei der Nutzung erneuerbarer Energien dominant.
- Die Nachfrage nach Elektrizität ist gross, denn sie ist universell und effizient einsetzbar. Als Treibstoff für den Verkehr ist sie effizienter als alle anderen



Keine falsche Hoffnungen in unentdeckte Technologien. Die Substitution von fossiler und atomarer Energie müssen wir mit heute verfügbarer Technologie bewerkstelligen. (Bild: Adrian Paci)



Vielseitige Einsatzmöglichkeiten, Effizienz bei der Speicherung und dem Transport sowie eine vorhandene Infrastruktur sprechen für die Elektrizität als Energieform der Zukunft.



Bei der Nutzung erneuerbarer Energien mit grossem Potenzial wird primär elektrische Energie produziert.

(v.o.: Parabolrinnen-, Wasser- und Windkraftwerk)

Energieträger. Mit Wärmepumpen liefert sie Raumwärme mit höchstem Wirkungsgrad.

- Der Transport von Elektrizität vom Produktionsort zum Verbraucher kann mit geringen Verlusten erfolgen.
- Für die Speicherung von elektrischer Energie gibt es Systeme mit hoher Speichereffizienz (Batterien für dezentrale Anwendungen und Pumpspeicherwerke für Grossspeicheranlagen) [30, 31].
- Neben allen Effizienzvorteilen der Elektrizität ist diese Technologie bewährt und es existiert bereits eine flächendeckende Infrastruktur in Form des Verteilnetzes.

Wasserstoff

- Die Gewinnung von Wasserstoff aus erneuerbaren Energien befindet sich heute noch im Versuchsstadium. Aus Biomasse oder aus Solarenergie kann zwar Wasserstoff gewonnen werden, aber erst im Forschungslabor und mit geringem Wirkungsgrad. Wasserstoff kann auch mittels Elektrolyse aus elektrischer Energie und Wasser gewonnen werden. Dieses Verfahren ist jedoch ebenfalls mit Energieverlusten verbunden.
- Der Transport von Wasserstoff ist auf Grund des geringen Energieinhalts pro Volumeneinheit bedeutend weniger effizient als der von Elektrizität [32]. Weiter muss der Wasserstoff in der Brennstoffzelle beim Endverbraucher wieder in Elektrizität umgewandelt werden. Bei dieser Umwandlung entsteht neben Strom auch Wärme, die nicht immer genutzt werden kann.
- Die Speicherung von Wasserstoff erfolgt immer auf Kosten der Energieeffizienz. Flüssiger und auch komprimierter gasförmiger Wasserstoff hat pro Volumeneinheit zwar mehr Energieinhalt als beispielsweise Batterien, aber die Verdichtung oder Verflüssigung von Wasserstoff ist energieaufwendig und verschlechtert damit den Gesamtwirkungsgrad [33].

Elektrizität als Energieform der Zukunft

Elektrizität wird in der Energieversorgung der Zukunft die zentrale Rolle spielen. Die meisten erneuerbaren Energiequellen liefern Elektrizität. Elektrizität ist universell und effizient einsetzbar. Im Vergleich zum Wasserstoff ist Elektrizität als Energieform in den entscheidenden Bereichen Transport und Speicherung klar effizienter und besitzt heute bereits eine voll ausgebaute Infrastruktur.

4.4 Effizienz in der Wärmeproduktion: Kein Feuer ohne Strom

4.4.1 Keine wertvolle Energie verheizen

Wärme-Kraft-Anlagen erzeugen gleichzeitig Wärme und Elektrizität. In der zukünftigen Energieversorgung darf kein Feuer betrieben werden, das nicht auch elektrische Energie produziert. Wenn eine 1000°C heisse Flamme in einer Heizung lediglich zur Erwärmung von Warmwasser genutzt wird, bleibt wertvolle Energie ungenutzt. Die heisse Flamme soll zuerst zur Elektrizitätsproduktion genutzt werden, die entstehende „Abwärme“ heizt dann das Haus.

Dass eine Kilowattstunde elektrische Energie wertvoller zu gewichten ist als eine Kilowattstunde Energie aus Warmwasser kann an einem einfachen Beispiel erläutert werden: Aus einer Kilowattstunde elektrischer Energie kann man Wasser erwärmen, so dass anschliessend die ganze Kilowattstunde im Wasser in Form von Wärme vorliegt. Es ist jedoch unmöglich, aus einer Kilowattstunde Wärme, die in Wasser vorhanden ist, eine Kilowattstunde elektrische Energie zu produzieren.

Elektrische Energie ist wertvoller als Wärme

Elektrizität besitzt im Vergleich zu Wärme einen klaren physikalischen Mehrwert. Wo immer möglich, insbesondere bei Verbrennungsprozessen, muss deshalb Elektrizität produziert werden.

4.4.2 Polygeneration wo immer möglich

Die Notwendigkeit von Wärme-Kraft-Anlagen betrifft in der kommenden Umstellungsphase primär die fossil betriebenen Heizungen im Gebäudebereich. Für eine effiziente Integration sollte immer dann, wenn Wärme gefordert ist, auch Elektrizität produziert werden. Eine Elektrizitätsproduktion mit Wärme-Kraft-Anlagen ohne Wärmebedarf ist nur in Ausnahmefällen sinnvoll. So zum Beispiel, wenn die Wärme-Kraft-Anlage für die Elektrizitätsproduktion zwecks Netzstabilisierung betrieben wird. Die Wärmeenergie wird dann in einem Wärmespeicher aufgefangen und später genutzt.

Neben Elektrizität kann aus Wärmequellen auch Energie für die Kälteproduktion gewonnen werden. Kühlung ist für viele Anwendungen der Industrie von hohem Stellenwert. Die Integration von Kälte- und Wärmeproduktion erlaubt eine beachtliche Effizienzsteigerung des Gesamtsystems.

Die konsequente Anwendung von Wärme-Kraft-Anlagen bedeutet eine vermehrte Elektrizitätseinspeisung im Winterhalbjahr. Somit ist diese Technologie die ideale und auch notwendige Ergänzung zur Elektrizitätsproduktion aus Photovoltaik.

4.4.3 Wärme-Kraft-Anlagen haben hohes Potenzial

Der stetig steigende Elektrizitätsbedarf könnte schon in wenigen Jahren zu einem Engpass in der Versorgung führen [11]. Wärme-Kraft-Anlagen steigern die Effizienz der Energienutzung und leisten mit der Elektrizitätsproduktion einen wichtigen Beitrag zur Deckung der prognostizierten Stromlücke. Das technische Potenzial für Wärme-Kraft-Anlagen in der Schweiz ist enorm, und die Technologien dafür sind marktreif [34].

Fossile Wärme-Kraft-Anlagen sind heute ab einer elektrischen Leistung von wenigen Kilowatt erhältlich und können bereits in grösseren Einfamilienhäusern eine Ölheizung ersetzen. Für die erneuerbaren Energieträger Pflanzenöl und Biogas sind die Technologien mit entsprechenden Modifikationen auf dem Markt. Neben den verfügbaren Technologien wie Turbine, Diesel- und Ottomotor könnte in



Wärme-Kraft-Anlagen sind für verschiedenste Anwendungen auf dem Markt verfügbar. Die Einbindung in bestehende Infrastrukturen muss noch umgesetzt werden.

(v.o.: Turboden ORC-Anlage, Talbott's Heating extern befeuerte Gasturbine, Capstone Mikrogasturbine)



*Der elektrische Verkehr ist aus technischer Sicht die beste Lösung. Verschiedene alltagstaugliche Fahrzeuge sind bereits auf dem Markt erhältlich.
(v.o.: Tesla Roadster, Twingo Elektra, Vectrix Maxi-Scooter)*

diesem Anwendungsbereich auch der Stirlingmotor und die Brennstoffzelle einen entscheidenden Beitrag zur Effizienzsteigerung leisten.

Für den Bereich Feststoffbiomasse (z.B. Holz) sind ebenfalls in allen Leistungsbereichen Technologien bekannt [35]. Im kleinen Leistungsbereich bietet sich die Stirling-Wärme-Kraft-Anlage an. Bei grösseren Leistungen kommen Organic Rankine Cycle-Anlage (ORC), Heissluftturbine und schliesslich Dampfturbine zum Einsatz. Besonders interessant ist die Kombination aus Heissluftturbine und ORC-Anlage. Diese Kombination erreicht mit äusserst inhomogenem Feststoffbiomassebrennstoff einen Stromwirkungsgrad von 30 Prozent.

4.5 Energieeffizienz in der Mobilität: Treibstoff vom Hausdach

4.5.1 Elektrischer Verkehr als technisch effizienteste Lösung

Das Auto der Zukunft fährt mit Elektromotor [36]. Aus technischer Sicht ist dies die beste Lösung. Der Elektromotor ist kompakt, emissionsfrei, ungeschlagen effizient und liefert ein durchgängig hohes Drehmoment. Lärmemissionen können minimiert werden und der Wegfall von Getriebe und Kupplung verringert den Wartungsaufwand. Ein weiterer entscheidender Vorteil resultiert aus der Möglichkeit, über den Elektromotor beim Bremsvorgang Elektrizität zu produzieren und zu speichern. Die Sicherheit wird erhöht, da jedes Rad komplett unabhängig ansteuerbar wird, wodurch Traktion in allen Fahrsituationen optimal gewährleistet werden kann. Für die Gestaltung des Innenraumes eröffnen sich neue Möglichkeiten, da die Energieübertragung bis direkt an die Antriebseinheit mit flexiblen Kabeln erfolgen kann. Die technischen Vorteile eines Autos mit Elektromotor sind augenfällig. Das Auto der Zukunft wird diese Technologie anwenden.

Im öffentlichen Verkehr ist die energieeffiziente Mobilität mit der Eisenbahn bereits grossräumig verwirklicht. Der Personenverkehr der Zukunft kombiniert effizient die Grobverteilung mit der elektrischen Eisenbahn und die Feinverteilung mit dem Elektroauto.

4.5.2 Batterien sind effizienter als Brennstoffzellen – und heute schon erhältlich

Noch nicht abschliessend entschieden ist die Frage der Elektrizitätsquelle im Auto. Hier konkurrieren Batterie und Brennstoffzelle. Die Brennstoffzelle bietet theoretisch eine grössere Reichweite, hat aber eine niedrigere Effizienz als die Batterie. Die Batterie hingegen kann nicht inert nützlicher Zeit während einer Fahrt aufgeladen werden. Batterieladezeiten und die beschränkte Reichweite sind jedoch im Alltagsverkehr weniger von Bedeutung. Autofahrten enden zu 95 Prozent nach weniger als 50 Kilometern, und das Auto steht die meiste Zeit unbenutzt in der Garage. Viel zentraler ist die Frage nach dem Tankstellennetz. Elektrizität gibt es an jeder Ecke, die Infrastruktur für Wasserstofftankstellen müsste erst unter Einsatz grosser Kosten erstellt werden. Wasserstoff ist nur ein Energieträger (keine Energiequelle) und der Transport ist mit Energieverlusten

verbunden. Das entscheidende Argument für die Batterie als Energiespeicher ist jedoch die ungeschlagene Effizienz. Moderne Batterien speichern Elektrizität mit einer Effizienz von ca. 80 Prozent [31, 37]. Brennstoffzellen hingegen haben einen prognostizierten elektrischen Wirkungsgrad von maximal 70 Prozent [38, 39]. Brennstoffzellen werden kaum je die Effizienz von Batteriesystemen erreichen.

Das Batterieauto ist eine heute auf dem Markt erhältliche Technologie mit alltagstauglichen Fahrleistungen und moderatem Preis. Ein alltagstaugliches und bezahlbares Auto mit Brennstoffzellenantrieb wird noch für längere Zeit auf sich warten lassen.

Batterien statt Brennstoffzelle und Wasserstoff

Das Auto der Zukunft fährt mit Elektromotor. Die elektrische Energie wird mit modernen Batterien bereitgestellt. Wasserstoff als Energieträger wird nie die hohe Speichereffizienz von Batterien erreichen und ist im Gegensatz zu Batterien noch lange nicht auf dem Markt erhältlich. Weiter ist unklar, wer die Kosten für den Aufbau einer Wasserstoff-Infrastruktur übernehmen soll.

4.5.3 Flächeneffiziente Treibstoffproduktion auf dem Hausdach

Bei jeder Diskussion um Elektroautos stellt sich sofort die Frage, woher denn die Elektrizität für den Antrieb kommen soll. Die Produktion von Treibstoff in Form von Solarstrom auf dem Hausdach ist die optimale Antwort.

Bisher konzentrierte man sich vor allem auf Biomasse als Quelle für erneuerbaren Treibstoff. Treibstoff aus Biomasse, sei es naturbelassenes Pflanzenöl oder Zweitgeneration-Biotreibstoff aus Ganzpflanzenverwertung, wird nie mehr als 15 Prozent des Treibstoffverbrauchs abdecken können, weil die verfügbare Bodenfläche begrenzt ist.

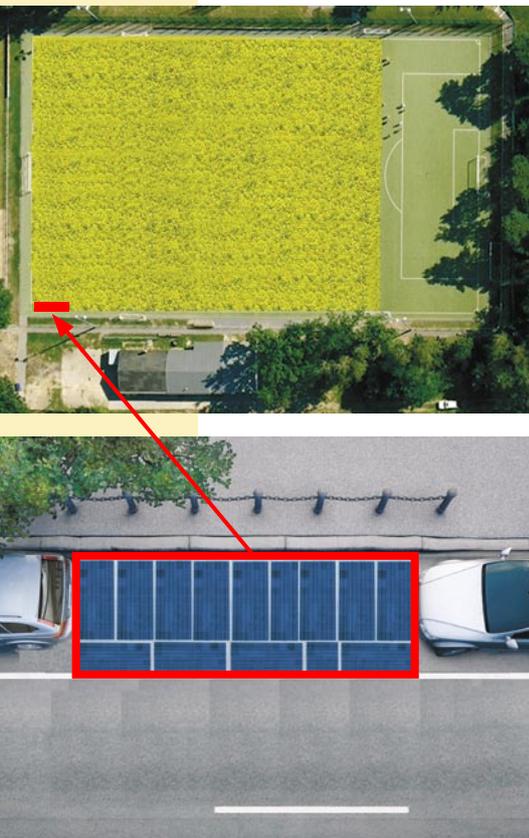
Eine Hektare Landwirtschaftsfläche kann ein Auto während eines Jahres (Fahrleistung: 15'000 Kilometer) mit Treibstoff versorgen. Wird auf einer gleich grossen Fläche Photovoltaikstrom „geerntet“, so reicht dieser für mindestens 300 Elektroautos mit einer Fahrleistung von je 15'000 Kilometer. Hinzu kommt, dass die Photovoltaik-Anlage nicht auf der grünen Wiese installiert werden muss. Dafür können auch bereits versiegelte Flächen genutzt werden, beispielsweise Hausdächer. Aufgrund dieses Vergleichs ist klar, wie das Fahrzeug der Zukunft aussieht: Es ist ein Elektrofahrzeug, betrieben mit Photovoltaikstrom vom Hausdach. Auch die CO₂-Emissionen verringern sich mit dieser Technologie um den Faktor 15.

Wirtschaftlich schon heute konkurrenzfähig

Ökonomisch betrachtet ist der solare Treibstoff für ein Elektroauto schon heute konkurrenzfähig. Solarstrom ist pro Kilowattstunde noch rund dreimal teurer als Benzin. Gleichzeitig ist das Elektroauto dreimal effizienter. Umgerechnet auf die Kilometerkosten wird der hohe Preis für Solarstrom durch den effizienten Elektromotor ausgeglichen.



*Energie vom Hausdach: Solar-
kollektoren für Warmwasser und
Heizung, Photovoltaikstrom für
Mobilität und Haushalt.*



Flächenvergleich in der Treibstoffproduktion: Beide Flächen liefern Energie für die gleiche Kilometerleistung eines Autos. Solarer Treibstoff ist 300-mal flächeneffizienter als Treibstoff aus Biomasse – und kann auf bereits versiegelter Fläche «geerntet» werden.

Beispielsrechnung: Ein mit Elektromotor angetriebener Kleinwagen verbraucht inklusive Ladeverluste 16 kWh elektrische Energie pro 100 km [40, 41]. Dasselbe Modell mit Benzinmotor verbraucht auf Grund des schlechteren Wirkungsgrades des Verbrennungsmotors 50 kWh in Form von Benzin pro 100 km [42]. Das Elektroauto verbraucht somit dreimal weniger Energie als das Benzinauto. Die Produktion von Photovoltaikstrom ist etwa 100-mal flächeneffizienter als Biomasse-Energie. Eine 100-mal effizientere Produktion und eine dreimal effizientere Umwandlung in Vortrieb ergibt in der Gesamtbilanz für die gleiche Fahrleistung einen 300-mal geringeren Flächenverbrauch des Elektroautos gegenüber dem Biotreibstoffauto. Auch die CO₂-Bilanz ist rekordverdächtig. Für die Fahrleistung von 100 km mit dem Benzinmodell werden ca. 13 kg CO₂ pro 100 km ausgestossen [43]. Das Elektroauto stösst nur 0,8 kg CO₂ pro 100 km aus (die Produktion von 1 kWh Schweizer Solarstrom verursacht ca. 50 g CO₂ [44]); somit verursacht das Elektroauto rund 15-mal weniger Treibhausgase. Keine andere auf dem Markt erhältliche Technologie für den motorisierten Individualverkehr bietet derart tiefe Emissionen bei einem beinahe unbegrenzten Potenzial der Energiebereitstellung!

Das Elektroauto mit PV-Treibstoff ist 300-mal flächeneffizienter als ein Auto mit Biotreibstoff

Die Fläche von 2 Parkfeldern, bedeckt mit Photovoltaikzellen, reicht aus, um ein Elektroauto jährlich für 15'000 Kilometer mit Energie zu versorgen. Um ein Auto mit Verbrennungsmotor für 15'000 Kilometer mit Biomasse-Treibstoff zu versorgen, wird jährlich die Fläche eines Fussballfeldes benötigt.

4.5.4 Der polyvalente Range Extender deckt Spitzenbedarf

Unbefriedigend ist die heutige Reichweite des Elektroautos, sie muss verbessert werden. Lösen kann das Problem ein Zusatzaggregat, das innert kurzer Zeit einen ausreichend grossen Treibstoffvorrat aufnehmen und Energie für lange Fahrten liefern kann, ein Range Extender. Der Range Extender hat die Aufgabe, die Batterie während der Fahrt permanent aufzuladen. Er muss mit einem Treibstoff betrieben werden, der eine hohe Energiedichte besitzt und schnell getankt werden kann. Diese Ansprüche an einen Range Extender erfüllen heute die mit Biomasse-Treibstoffen betriebenen Verbrennungsmotoren. In Zukunft könnten auch Brennstoffzellen die Funktion eines Range Extenders übernehmen. Der gleichmässige Energiebedarf für die Batterieladung erlaubt es, den Range Extender im optimalen Betriebspunkt zu fahren, wodurch die Effizienz maximiert und der Schadstoffausstoss minimiert wird. Ein Elektroauto mit Range Extender steht einem Auto mit Verbrennungsmotor in nichts nach, funktioniert aber viel effizienter. Die meisten Fahrten können mit nachhaltig produzierter Elektrizität erfolgen, für die wenigen Fahrten über längere Distanzen kommen Biomasse-Treibstoffe zur Anwendung. In dieser Kombination leisten Biomasse-Treibstoffe einen entscheidenden und realistischen Beitrag zur Treibstoffversorgung der Zukunft.

Noch weiter gedacht könnte der Range Extender im stationären Betrieb (in der Garage) bei Spitzenenergiebedarf im Haushalt (Wärme) oder im Elektrizitätsnetz zu Anwendung kommen. Viele kleine Range Extender-Aggregate können, gesteuert vom Energieversorger, innert weniger Minuten die notwendige elektrische Leistung für eine ausreichende Versorgung bei Spitzenenergiebedarf gewährleisten.

Der polyvalente Range Extender kann also den Spitzenenergiebedarf sowohl im Fahrverkehr wie auch im Haus oder im Elektrizitätsnetz abdecken.

4.6 Speicherlösungen für erneuerbare Energien

Die grösste Herausforderung für den Ausbau erneuerbarer Energien ist die unregelmässig anfallende Produktion der Solarenergie und des Windstroms. Ein Lösungsansatz ist die dezentrale Wärmespeicherung in jedem Gebäude. So können Leistungsspitzen der Solarkollektoren und allfällig überschüssige Wärme aus der dezentralen Wärme-Kraft-Anlage gespeichert werden. Diese Technologie ist heute bereits vorhanden und wird ständig optimiert.

Auch für die Speicherung von elektrischer Energie gibt es verschiedene Möglichkeiten. Gerade in der Schweiz ist die Speicherung von elektrischer Energie mittels Pumpspeicherwerke eine sehr effiziente Methode, um unregelmässig anfallenden Strom aus Photovoltaikanlagen und Windkraftwerken zu speichern. Die für diese Speicherlösung notwendigen Anpassungen des bestehenden Stromnetzes müssen angegangen werden. Die Batterie als Speicher elektrischer Energie weist heute ebenfalls eine hohe Effizienz auf. Seit dem Aufkommen von Batterietypen, deren Lebensdauer kaum mehr von der Anzahl Ladezyklen abhängig ist, kann in Elektrizitätsnetzen mit Batterien Energie gespeichert werden [37].

Derselbe Batterietyp wird auch für den Antrieb des Elektroautos verwendet. Dadurch ergibt sich eine interessante Ergänzung von elektrischem Verkehr und der Speicherung elektrischer Energie. Jedes Elektroauto dient mit seinen Batterien auch als Energiespeicher. Bei viel Sonneneinstrahlung wird die Autobatterie mit Solarstrom aus dem Netzverbund geladen. Bei Elektrizitätsbedarf wird ein Teil der Batteriekapazität als Regenergie im eigenen Haushalt verwendet oder wieder dem Netz zugeführt. Der Rest bleibt für den Fahrstrom reserviert.

Haushalt und Verkehr ergänzen sich im Netzverbund

Das Haus als Kraftwerk liefert mit Photovoltaik auf dem Dach und einer Wärme-Kraft-Anlage im Keller Strom für das Elektroauto. Die Batterie des Elektroautos und der Range Extender speisen bei Bedarf Elektrizität ins Netz.

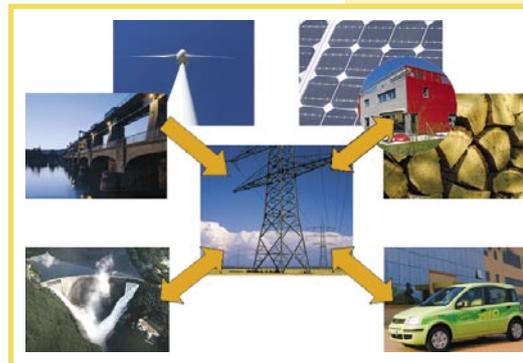
4.7 Biomasse im zukünftigen Schweizer Energiemix

4.7.1 Biomasse-Energie findet immer einen Abnehmer

Biomasse wird im zukünftigen Schweizer Energiemix eine wichtige Rolle spielen. Das begrenzte Potenzial verlangt jedoch eine hohe Effizienz bei der Konversion von Biomasse zu Brennstoff, Treibstoff und Elektrizität. In einem ökologischen Szenario werden in der Schweiz im Jahre 2040 jährlich ca. 35 TWh Energie aus Biomasse gewonnen werden können [19]. Dies entspricht etwa 14 Prozent des momentanen Energieverbrauchs in der Schweiz. Holz ist die wichtigste energetisch nutzbare Biomasse in der Schweiz. Zum potentiellen Biomassesortiment gehören aber auch Abfälle aus Küche, Landwirtschaft und Nahrungsmittelproduktion sowie Reststoffe aus der Landschaftspflege. Es gilt sinnvolle und effiziente Wege zu



Ein Wärmespeicher im Gebäude für überschüssige Energie aus Solarkollektoren und Wärme-Kraft-Anlagen ist ein wichtiger Schritt bei der Umstellung auf erneuerbare Energien. Diese ausgereifte Technologie sollte bei jedem Neubau eingesetzt werden. (Bild: Speicher von Jenni Energietechnik)



Der Elektrizitätsverbund der Zukunft: Erneuerbare Elektrizität aus Wasserkraft, Photovoltaik, Windkraft und Biomasse wird ins Netz eingespiesen. Das Batterieauto und Pumpspeicherkraftwerke stellen den Ausgleich zwischen Produktion und Verbrauch sicher.

finden, um das ganze Biomassesortiment in Brennstoffe, Treibstoffe und Elektrizität umzuwandeln.

In der Schweiz wurden 2004 rund 76 TWh Treibstoff, 93 TWh Brennstoff und 56 TWh Elektrizität als Endenergie verbraucht [6]. Die ökologisch erzeugbaren 35 TWh aus Biomasseenergie werden also den Bedarf in keiner der drei Endenergien (Brennstoffe, Treibstoffe oder Elektrizität) substituieren können. Eine energetisch optimierte Konversion bedeutet auch eine maximale Substitution von fossilen Energieträgern und eine grösstmögliche Reduktion der schädlichen Umweltauswirkungen. Die energieeffiziente Konversion von Biomasse zu Brennstoff, Treibstoff und Elektrizität hat deshalb eine hohe Priorität.

4.7.2 Effiziente energetische Verwertungspfade für Biomasse

Etwas vereinfacht ausgedrückt lautet der Grundsatz einer effizienten energetischen Verwertung von Biomasse: Das Brennbares verbrennen (Wärme), das Vergärbare vergären (Biogas) und das Pressbare verpressen (Bioöle). Dahinter steht der Grundsatz, dass jeweils energetisch und ökologisch optimierte Konversionspfade angewendet werden, um die verschiedenen Biomassesortimente in die gewünschte Endenergie umzuwandeln. Die dargestellten Verwertungspfade für Biomasse sind Basis einer nachhaltigen Energieproduktion.

Trockene, holz- und halmgutartige Biomasse für die direkte Verbrennung (thermochemische Verwertung)

Mit der direkten Verbrennung von trockener Biomasse (Wassergehalt < 60 Prozent) wird die höchste energetische Effizienz erreicht. Gerade Biomasse mit einem hohen Lignozelluloseanteil wie beispielsweise Holz ist für die direkte Verbrennung prädestiniert. Emissionen von Stickoxiden und Feinstaub können mit heutiger Technik durch primäre (Optimierung des Verbrennungsprozesses) und sekundäre Massnahmen (Abgasfilter) stark reduziert werden. Aus ökologischer Sicht ist eine direkte Verbrennung auf Grund der hohen Effizienz und der geringen Emissionen vorteilhaft. Anzustreben ist die Produktion von Wärme und Elektrizität.

Die Verbrennung von trockener Biomasse mit wenig vorteilhaften Verbrennungseigenschaften wie beispielsweise Stroh oder Chinaschilf (tiefer Ascheschmelzpunkt, hoher Chlorgehalt mit Gefahr der Dioxinbildung) sollte in Anlagen mit effizienter Filtertechnologie erfolgen. Naturbelassenes Holz ist für die Energieproduktion in kleinen, dezentralen Anlagen prädestiniert.

Feuchte, nicht holzartige Biomasse für die Vergärung (biochemische Verwertung)

Feuchte, lignozellulosearme Biomasse (Wassergehalt > 60 Prozent) sollte in Biogasanlagen zu Methan vergärt werden. Der hohe Wassergehalt, oft erhöhte Ascheanteile und Chlorgehalte mit dem Potenzial der Dioxinbildung sprechen gegen deren Verbrennung. Grosse räumliche Distanzen zwischen Produktion und Verarbeitung von Biomasse mit geringer Energiedichte können einen Transport energetisch unsinnig machen. Die lokale Produktion von Biogas und eine anschliessende Verteilung über bestehende Gasnetze ist ein optimierter Verwertungspfad.

Biogas ist ein Energieträger mit relativ hoher Energiedichte. Es eignet sich vorzugsweise für den Einsatz als Treibstoff im Range Extender. Überschüssiges Biogas wird in Wärme-Kraft-Anlagen verbrannt, wobei Heizwärme und Strom produziert werden.



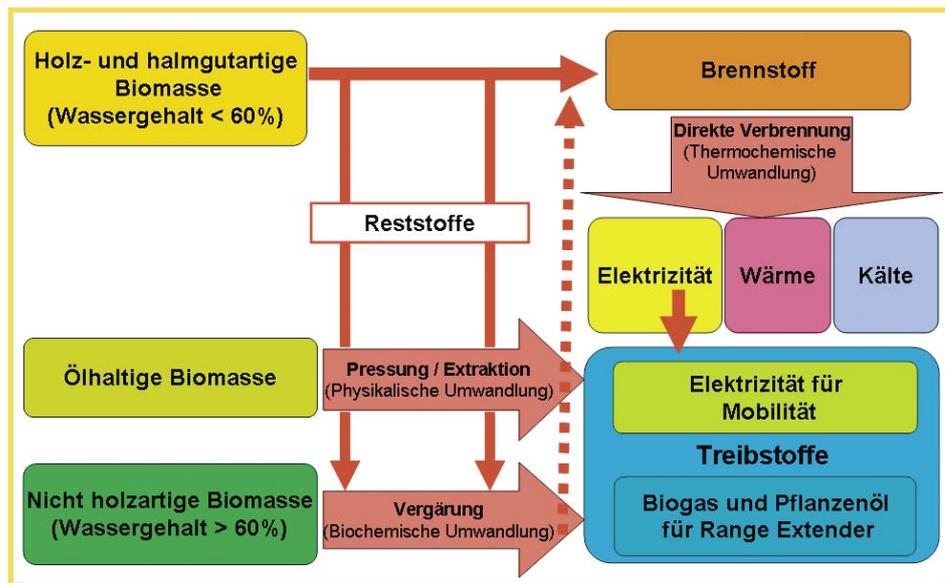
Der Brennstoff Holz in raffinierter Form als Pellets oder Hackschnitzel ist ideal für die direkte Verbrennung geeignet.



Feuchte Biomasse sollte in Biogasanlagen zu Methan vergärt werden.

Ölsaaten und biogene Altöle für die Verpressung und Extraktion (physikalische Verwertung)

Ölhaltige Biomasse wie Ölsaaten oder biogene Altöle sollten mit Vorteil verpresst und extrahiert werden. Ohne weitere chemische Aufbereitung können so Pflanzenöle gewonnen werden. Biomasse wird auf diese Weise sehr effizient verwertet. Pflanzenöle haben eine sehr hohe Energiedichte. Deshalb sind sie prädestiniert als Treibstoffe für den Range Extender. Auch hier wird überschüssiges Pflanzenöl in Wärme-Kraft-Anlagen zur Produktion von Heizwärme und Strom verbrannt.



Biomasse muss wenn immer möglich auf dem energetisch effizientesten Pfad zu Brennstoff, Treibstoff und Elektrizität umgewandelt werden. Holz wird verbrannt. Biogas und Pflanzenöl werden bevorzugt im Range Extender eingesetzt und bei Überschuss in Wärme-Kraft-Anlagen verbrannt, wobei Raumwärme und Strom produziert werden.

Biotreibstoffe der zweiten Generation

Die Konversion von Biomasse verschiedenster Art zu gasförmigen oder flüssigen Kohlenwasserstoffen (Vergasung) in Hochtemperaturprozessen wird heute in der Treibstoffproduktion massiv gefördert und als «Second Generation Biofuels» oder Biomass-to-Liquid/Gas-to-Liquid bezeichnet. Mit dieser Technologie wird bisher ungenutzte Biomasse zu Treibstoff gemacht. Sie ist aber noch nicht marktreif. Gleichzeitig hat diese Technologie einen energetischen Wirkungsgrad von weniger als 60 Prozent und kann heute erst Biomasse mit einem Wassergehalt von weniger als 20 Prozent verwerten [44]. Die Konversion von Biomasse zu gasförmigen oder flüssigen Kohlenwasserstoffen macht nur dann Sinn, wenn die verwendete Biomasse keinem der oben genannten Konversionspfade zugeordnet werden kann. Die Konversion von Holz zu Methan oder synthetischem Treibstoff, mit dem Ziel einer energetischen Nutzung, ist ineffizient und deshalb abzulehnen.

Biotreibstoff aus Holz – ein intelligenter Unsinn

Das Brennbare verbrennen (Wärme), das Vergärbare vergären (Biogas) und das Pressbare verpressen (Pflanzenöle) lautet der vereinfachte Grundsatz einer effizienten energetischen Verwertung von Biomasse. Zum Beispiel ist die Produktion von Biotreibstoff aus Holz mit energetischen Verlusten von bis zu 50 Prozent verbunden. Das benötigte Holz könnte stattdessen in Holzheizungen mit fast doppeltem Wirkungsgrad bestehende Ölkessel substituieren. Die Umwandlung von Holz zu Biotreibstoff ist unsinnig.

4.7.3 Regionale Bioenergiezentren liefern raffiniertes Brennholz, Treibstoff und Elektrizität

Die erwähnten Verwertungspfade für Biomasse stellen die jeweils effizienteste Umwandlung zu Nutzenergie dar. Die einzelnen Prozesse können durch eine Integration in einer regionalen Bioraffinerie in ihrer Effizienz gesteigert werden.

Das folgende Konzept soll aufzeigen, welche Synergieeffekte durch die Integration verschiedener regionaler Energieanlagen in einer Bioraffinerie entstehen können:

- Biogas-Wärme-Kraft-Anlagen müssen aus wirtschaftlichen Gründen möglichst das ganze Jahr Elektrizität produzieren. Während der warmen Sommermonate stehen kaum Abnehmer für die Prozesswärme zur Verfügung. Zudem ist die Biogasleistung durch das vermehrt anfallende Grüngut erhöht.
- Die meisten Biogas- und Kompostierwerke haben einen Anteil von bis zu einem Drittel zellulosehaltiger Reststoffe, die nicht vergärt werden können. Sie können in einer Feststoff-Wärme-Kraft-Anlage verwertet werden.
- Während heute für die Pelletproduktion noch trockene Sägerei- und Sägeabfälle verwendet werden, wird bei einer Ausweitung der Pelletproduktion auf Waldholz vermehrt preiswerte Trocknungsenergie benötigt.



Pellets für Holzheizungen ermöglichen einen ähnlichen Komfort wie Öl- oder Gasheizungen.

Diese Elemente regionaler Energieanlagen können geschickt kombiniert werden. Die Abwärme der Biogasanlage und die Abwärme der Feststoff-Wärme-Kraft-Anlage, welche beide primär Elektrizität produzieren, werden in einer weiteren Wärme-Kraft-Anlage (ORC-Technologie) genutzt. Die Abwärme aus dieser Elektrizitätsproduktionskette wird schliesslich für die Trocknung des Waldholzes für die Pelletproduktion verwendet. So liefert das Bioenergiezentrum Elektrizität, Brennstoff und je nach System auch gasförmigen Treibstoff aus der Biogasanlage mit höchster Effizienz.

Bioenergiezentren: die Raffinerien der Region

Die Kombination verschiedener Prozesse aus Energieversorgung und Abfallwirtschaft erlaubt die Produktion von Elektrizität, Treibstoff und raffiniertem Brennstoff mit hoher Effizienz in regionalen Bioenergiezentren.

5 Zentral anfallende Energien zentral nutzen – dezentral anfallende Energien dezentral!

5.1 Technische und sozioökonomische Aspekte zentraler und dezentraler Kraftwerke

Dem Entscheid, welche Technologien in welcher Grösse wo eingesetzt werden, müssen sowohl technische Skaleneffekte als auch sozioökonomische Aspekte zu Grunde gelegt werden. Aus technischer Sicht ist für eine Beurteilung der Gesamteffizienz einer Wärme-Kraft-Anlage der Stromwirkungsgrad oft entscheidend, da Elektrizität als hochwertige Energie wertvoller ist als Wärme. Aus physikalischen Gründen sind grosse, zentrale Anlagen bezüglich Stromwirkungsgrad besser und haben somit oft eine höhere Gesamteffizienz in der Energieumwandlung als kleine, dezentrale Anlagen. Oft kann bei Grossanlagen aber die entstehende Abwärme nur teilweise genutzt werden. Bei einem Systemvergleich mit der Einheit „bereitgestellte Raumwärme pro benötigte Primärenergie“ schneidet ein zentrales Grosskraftwerk bezüglich Energieeffizienz etwa 10–20 Prozent besser ab. Neben der höheren Effizienz der Energieumwandlung sprechen auch Umweltaspekte für Grossanlagen. So können in Grossanlagen effiziente Abgasreinigungsanlagen eingebaut werden, was bei kleinen Anlagen aus Kostengründen noch nicht mit der gleichen Reinigungswirkung möglich ist. Hohe Umwandlungseffizienz und tiefe Emissionen sind Vorteile von grossen, zentralen Kraftwerken.

Neben den rein technischen Aspekten müssen aber auch sozioökonomische Aspekte betrachtet werden, insbesondere Versorgungssicherheit und Energiewahrnehmung. Die Versorgungssicherheit ist immer dann maximal, wenn der lokal vorhandene Energieträger, wie zum Beispiel Holz, auch direkt lokal genutzt werden kann. Je höher der Grad der Zentralisierung in der Energiebereitstellungskette, desto anfälliger ist diese Versorgungslinie auf Störungen verschiedenster Art. Zusätzlich wirkt sich die Nutzung von lokal anfallenden Energieträgern auf die Wahrnehmung der Konsumentinnen und Konsumenten aus: Sie sehen, wie die Energie entsteht. Die dezentrale Nutzung von dezentral anfallenden Energien führt deshalb zu einem sorgsameren Umgang mit Energie. Das führt zu einem Einspareffekt, der die Effizienzvorteile von grossen Anlagen kompensiert.

5.2 Angepasster Einsatz von Wärme-Kraft-Anlagen

Ob bei einer Entscheidung zwischen dezentralen oder zentralen Wärme-Kraft-Anlagen die technischen oder sozioökonomischen Aspekte ausschlaggebend sind, wird massgeblich von der Brennstoffart beeinflusst.

Bei der Biomasse überwiegen die sozioökonomischen Vorteile Versorgungssicherheit und die Wahrnehmung der Energie durch die Verbraucherinnen und Verbraucher. Biomasse sollte deshalb in dezentralen oder semi-dezentralen Wärme-Kraft-Anlagen wie extern befeuerte Gasturbine, ORC-Anlage oder Pellet-Stirlingmotor zu Elektrizität und Wärme umgewandelt werden.



Holz als dezentral anfallender Energieträger ist prädestiniert für eine dezentrale Nutzung.



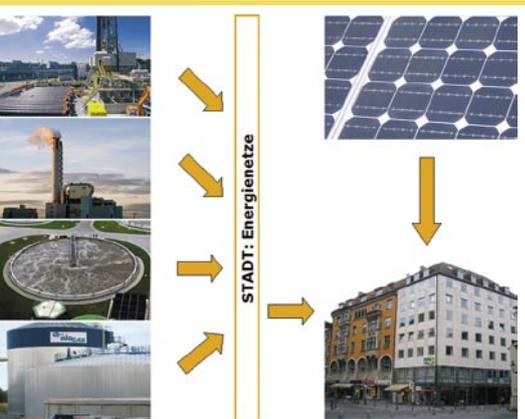
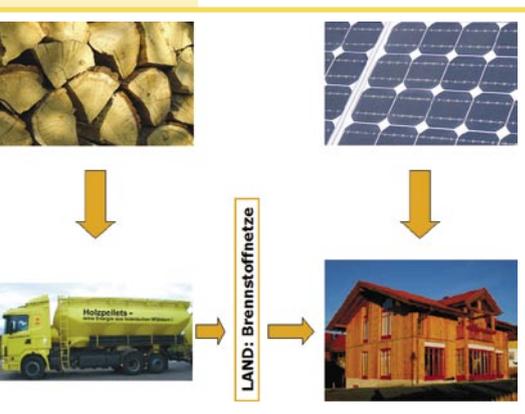
In der Übergangszeit zum post-fossilen Zeitalter kann für eine ressourceneffiziente Substitution von dezentralen, fossilen Heizungen eine Nutzung von zentral anfallenden Energien in zentralen Wärme-Kraft-Anlagen sinnvoll sein.

Bei den fossilen Brennstoffen sind die sozioökonomischen Aspekte weniger relevant. Die Versorgung ist vom ausländischen Zulieferer und inländischen Grossverteiler abhängig. Zentrale fossile Wärme-Kraft-Anlagen können in der Übergangszeit zum postfossilen Zeitalter für eine ressourceneffiziente Substitution von dezentralen, fossilen Heizungen sinnvoll sein. Die Kombination dieser zentralen Wärme-Kraft-Anlagen mit Elektrowärmepumpen erzielt höhere Nutzungsgrade als Gas- und Ölheizungen.

Dezentrale Wärme-Kraft-Anlagen in Kombination mit Elektrowärmepumpen sind zentralen Anlagen ebenbürtig, wenn hocheffiziente Technologien (z.B. Erdgas-Brennstoffzelle) zum Einsatz kommen.

Kein Energiebezug ohne Bezug zur Energie

Grosse, zentrale Wärme-Kraft-Anlagen sind technisch effizient, führen aber nicht zu einer Beziehung der Verbraucherinnen und Verbraucher zur Energie. Dezentral anfallende Energien (Holz) sollten dezentral genutzt werden. Die entstehende Beziehung zur Energie führt zu einem sorgsameren Umgang mit Energie.



Im ländlichen Raum erfolgt die Energieverteilung der Heizenergie über Holz-Brennstoffnetze, im urbanen Raum über Wärmenetze mit Energie aus Geothermie, KVA, ARA und Biogasanlagen. Solarenergie vom Hausdach deckt den Grossteil des Energiebedarfs.

5.3 Angepasste Lösungen für Stadt und Land

Der urbane Raum ist dichter besiedelt als der ländliche. Die Distanz zwischen den mit Energie zu versorgenden Wohneinheiten ist im ländlichen Raum wesentlich grösser. Das bedingt unterschiedliche Technologien für die Energieverteilung für Raumwärme. Während in der Stadt Wärmenetze eine sinnvolle Option darstellen, muss im ländlichen Raum die Heizwärme im Normalfall über Brennstoffnetze verteilt werden. Diese gegebenen Anforderungen lassen sich ideal mit der oben beschriebenen Nutzung für Biomasse kombinieren. Holz in raffinierter Form von Pellets oder speziell aufbereiteten Hackschnitzel sind der ideale Brennstoff für die Anforderungen im ländlichen Raum. Der Brennstoffverbund mit raffinierten Holzprodukten ist die zukünftige Energieversorgung der Wahl für den ländlichen Raum.

Im urbanen Raum bieten Wärmenetze die Möglichkeit, Energie aus zentralen Anlagen wie Kehrrechtverbrennung, Geothermiekraftwerk und urbanen Biogasanlagen (Küchenabfälle und ARA) effizient zu nutzen. Der urbane Raum ermöglicht die Wärmenutzung zentraler fossiler Wärme-Kraft-Anlagen, die Elektrizität für Wärmepumpen liefern.

Das Haus als Kraftwerk

Das Ökozentrum Langenbruck verfolgt eine Vision von effizienter, dezentraler und rationaler polyvalenter Energienutzung und -produktion.

Im ländlichen Raum ist das Kraftwerk Haus primär solar beheizt und liefert Solarstrom für die Mobilität. Bei wenig Sonnenstrahlung heizt die biomassebefeuerte Wärme-Kraft-Anlage das Haus und liefert Elektrizität ins Netz. Die Heizenergie wird über Brennstoffnetze verteilt.

Im urbanen Raum übernehmen Wärmenetze die Wärmeversorgung. Für zentrale Standorte mit einem dichten Netz von Wärmebezüglern eignen sich Geothermie, Biogasanlagen und KVA perfekt. Auch diese Kraftwerke speisen zusätzlich Elektrizität ins Netz.

6 Atomkraftwerke

Die Diskussion um Nutzen und Schaden der Atomenergie in der zukünftigen Energieversorgung polarisiert wie eh und je. Atomkraftwerke decken 40 Prozent des schweizerischen Elektrizitätsbedarfs und 10 Prozent des Gesamtenergiebedarfs [6]. Welche Rolle wird die Atomenergie in Zukunft spielen?

6.1 Nachhaltigkeit und CO₂-Bilanz

Da Uran keine erneuerbare Ressource ist, ist Energieerzeugung mit Atomkraft nicht nachhaltig. Der hohe Bedarf an Uran führt dazu, dass die Vorräte der leicht erschliessbaren und hochwertigen Uranlagerstätten zur Neige gehen. Die Gewinnung von Uran wird danach nur mit grösserem Energieaufwand und mit höheren spezifischen CO₂-Emissionen möglich sein. Bei der Elektrizitätsproduktion in Atomkraftwerken entstehen heute insgesamt weniger CO₂-Emissionen als bei der Elektrizitätsproduktion aus fossilen Energieträgern. Bei der Elektrizitätsproduktion aus erneuerbaren Energien ist der CO₂-Ausstoss heute auf gleichem Niveau wie bei Atomkraftwerken [42, 44]. In Zukunft ist damit zu rechnen, dass sich die CO₂-Bilanz der Atomkraftwerke zunehmend verschlechtern wird.

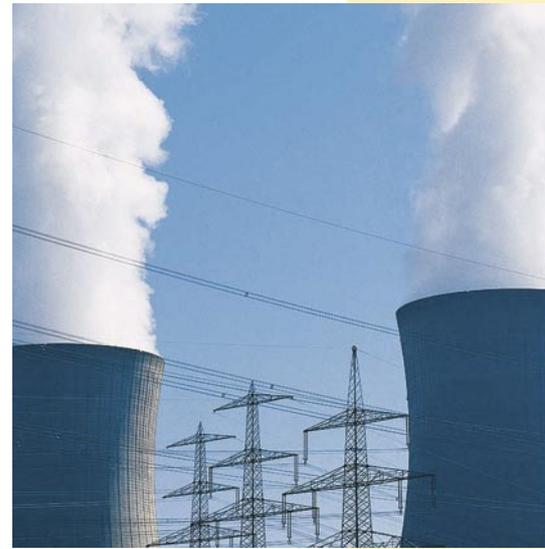
6.2 Sicherheit

Atomkraftwerke weisen von Generation zu Generation eine höhere Sicherheit auf. Trotzdem: Atomkraftwerke sind hochkomplexe technische Systeme und die Anfälligkeit auf nicht vorhersehbare Störungen wächst mit dem Grad der Systemkomplexität. Auch die besten Systeme werden immer noch von Menschen gelenkt, und Menschen machen Fehler. Die Wahrscheinlichkeit eines Unfalls mit Austritt von Radioaktivität ist zwar sehr gering, der zu erwartende Schaden im Katastrophenfall ist aber extrem gross. Ein einziger Unfall kann unser ganzes Umfeld dauerhaft und gravierend schädigen. Es gibt deshalb keine Versicherungsgesellschaft, die bereit wäre, die Schäden eines Unfalls mit Austritt von Radioaktivität finanziell abzusichern.

Auch die konfliktreiche weltpolitische Situation zwingt uns, die Nutzung von Atomkraft zu überdenken, da selbst nicht waffenfähiges Spaltmaterial Potenzial für enorme Zerstörung bietet.

6.3 Abfall

Radioaktive Abfälle stellen über unvorstellbar lange Zeiträume eine latente Gefahr dar. Aus heutiger Sicht geht von einer Endlagerung nur eine geringe Gefahr aus. Es kann aber niemand vorhersagen, welche Zustände auf der Erde in 10'000 Jahren herrschen werden. Die Gefahr des radioaktiven Abfalls kann demnach nicht abgeschätzt und nicht kontrolliert werden.



Energie aus Atomkraftwerken ist nicht nachhaltig. Die zukünftige Energieknappheit kann mit angepassten Technologien gelöst werden.

6.4 Übergangslösung mit Konsequenzen



Die Entscheidung, in welche Richtung unsere Energieproduktion gehen wird, muss von der Gesellschaft getroffen werden.

Der Bau eines Atomkraftwerkes für die Stromproduktion ist eine unflexible Übergangslösung. Vermehrte Energieproduktion mit Atomkraft beeinflusst die Bemühungen einer Umstellung auf erneuerbare Energien und die Verwirklichung nachhaltiger Energieperspektiven negativ. Durch billigeren Atomstrom wird der Zubau erneuerbarer Energien erschwert und die massiven Anlageinvestitionen behindern einen angepassten Umgang mit Atomstrom. Als Folge würde die unumgängliche Umstellung auf erneuerbare Energien weiter in die Zukunft verschoben, wodurch wertvolle Zeit für eine geregelte Umstellung verstreicht. Jedes weitere Zuwarten bei der Umstellung auf erneuerbare Energien verstärkt und verschlimmert die zu erwartenden Konsequenzen.

Die Entscheidung, ob momentane Vorteile der Atomkraft die grossen und langfristigen Risiken rechtfertigen, muss von der Gesellschaft getroffen werden. Aufgabe der Politik ist es, konsequent und objektiv über Chancen und Risiken zu informieren.

Eine unflexible Übergangslösung

Atomenergie ist nicht nachhaltig, birgt Risiken für eine gravierende Schädigung unseres Umfelds und verzögert den Einsatz erneuerbarer Energien. Der Entscheid für eine angepasste Energieversorgung muss von der Gesellschaft getroffen werden.

7 Zukunftsschritte

Die Energiewende kann nicht von heute auf morgen realisiert werden. Die Wahrscheinlichkeit, dass die Ressourcen knapp werden, ist sehr hoch. Die verbleibenden Ressourcen müssen optimal und nachhaltig genutzt werden. Wir präsentieren in diesem Grünbuch Technologien für die Übergangszeit und für das postfossile und postnukleare Zeitalter. So können wir ohne zeit- und kostenintensive Umwege auf eine Energieversorgung aus erneuerbaren Energien hinarbeiten. Die folgenden Aktionen sind solche Schritte in eine nachhaltige Energiezukunft:

Intelligenz substituiert Energie

- Gebäudestandard Passivhaus (Minergie-P) und Minergie-Standard bei Renovationen etablieren
- Intelligente Führung des Energieverbrauchs entwickeln
- Energiebewusstes Verhalten fördern

Diversität der Energiequellen

- Vielfalt der erneuerbaren Energiequellen nutzen
- Keine Wasserstoffwirtschaft aufbauen (die Erzeugung von Wasserstoff ist ineffizient, der Einsatz ist nur sehr beschränkt sinnvoll)
- Prozesse aus Energieversorgung und Abfallwirtschaft in regionalen Bioenergiezentren kombinieren
- Wärmenetze im städtischen Raum (KVA, ARA, Geothermie) und Brennstoffnetze (Pellet, Holzhackschnitzel) im ländlichen Raum ausbauen

Bodenschutz und Flächeneffizienz

- Die begrenzte Ressource Biomasse kaskadisch nutzen (Nahrungsmittel und Rohstoffe gehen der Energieerzeugung vor)
- PV-Strom als «Treibstoff» statt bodenschädigende Agrotreibstoffe einsetzen (PV-Strom im Elektroauto ist 300-mal flächeneffizienter als Agrotreibstoff)

Kein Feuer ohne Strom

- Polyvalente Energieerzeugung in Verbrennungsprozessen umsetzen (Wärme-Kälte-Kraft-Anlagen erzeugen gleichzeitig Wärme, Kälte und Strom)

Drehscheibe Strom

- Strominfrastruktur anpassen (erneuerbare Energien produzieren vorwiegend Strom)
- Range Extender im Elektroauto erweitern für polyvalente Energieerzeugung
- Fahrzeugbatterie im Elektroauto als Stromspeicher einbinden
- Potenzial von Elektrowärmepumpen kombiniert mit fossilen Kraft-Wärme-Anlagen nutzen (Ressourceneffizienz)

Kraftwerk Haus

- Dachflächen für die Gewinnung von PV-Strom für Elektroauto und Haushalt ausrüsten (Energieproduktion auf bereits versiegelten Flächen)
- Entwicklung von Energiesystemen mit intelligenter Kombination von PV-Anlagen, Range Extender als Wärme-Kraft-Anlage im Haus und Speicherbatterien des Elektroautos

Mit diesen effizienten, ressourcenschonenden Technologien und Konzepten kann das Ziel einer 2000-Watt-Gesellschaft schneller erreicht werden und sie bilden



Langfristige Rahmenbedingungen erlauben eine Umstellung auf erneuerbare Energien ohne zeit- und kostenintensive Umwege.



Topographie und Klima bieten gute Voraussetzungen für eine nachhaltige Energieversorgung der Schweiz.

gleichzeitig die Grundlage für eine dauerhaft energieeffiziente Gesellschaft. Die Schweiz ist in einer idealen Ausgangslage für eine Umstellung auf erneuerbare Energien. Konzentrierte Anstrengungen könnten die Schweiz zum globalen Vorreiter einer nachhaltigen Energieversorgung machen.

Die Politik muss klare und langfristige Rahmenbedingungen definieren. Diese Weichenstellungen hin zu einer Energiekultur müssen erfolgen, bevor wir auf Grund des Klimawandels und der Ressourcenknappheit mit akuten Problemen konfrontiert sind. Ein solcher Kulturwandel braucht Zeit.

Referenzen

1. IPCC 2007. *Climate change 2007: Impacts, adaptation and vulnerability - Summary for policymakers*. Cambridge, United Kingdom
2. IPCC 2007. *Climate Change 2007: The Physical Science Basis - Summary for policymakers*. Cambridge, United Kingdom
3. BUWAL 2005. *Feinstaub macht krank*. Bern, Schweiz
4. BLW 2002. *Agrarbericht – Ökologie*. Bern, Schweiz
5. Universität Basel 2007. <http://histsem.unibas.ch/forschung/projekte/peak-oil/> (August 2007)
6. BFS 2007. *Umwelt Schweiz*. Bern, Schweiz
7. Erdöl-Vereinigung 2007. *Wege zur Energieeffizienz – Jahresbericht der Erdöl-Vereinigung 2006*. Zürich, Schweiz
8. IEA 2006. *World Energy Outlook 2006: Zusammenfassung und Schlussfolgerung*. Paris, Frankreich
9. IEA 2007. *Medium-Term Oil Market Report*. Paris, Frankreich
10. National Petroleum Council 2007. *Facing the Hard Truths about Energy - A comprehensive view to 2030 of global oil and natural gas*. Washington, D.C., USA
11. Axpo 2006. *Strom für heute und morgen "Stromperspektiven 2020"*. Baden, Schweiz
12. BFE 2007. *Energieperspektiven 2035, Band 1–5*. Bern, Schweiz
13. Ökozentrum Langenbruck 2007. *Eigene Berechnungen*. Langenbruck, Schweiz
14. Greenpeace, SES, VCS, WWF. *Energieperspektive 2050 der Umweltorganisationen*. Basel, Schweiz
15. Novatlantis 2007. www.novatlantis.ch. Zürich, Schweiz (August 2007)
16. SATW 2006. *Road Map Erneuerbare Energien Schweiz – Eine Analyse zur Erschliessung der Potenziale bis 2050*. Zürich, Schweiz
17. Swissolar. *Photovoltaik – Strom aus der Sonne*. Zürich, Schweiz
18. FNR 2006. *Biokraftstoffe*. Gülzow, Deutschland
19. INFRAS 2005. *Potenziale zur energetischen Nutzung von Biomasse in der Schweiz*. Zürich, Schweiz
20. Institut für Energetik und Umwelt 2005. *Nachhaltige Biomassenutzungsstrategien im europäischen Kontext*. Leipzig, Deutschland
21. UFOP 2007. *Deutschlands Landwirte führend beim nachhaltigen Rapsanbau*. Berlin, Deutschland
22. Spiegel Online 2006. *Die Gier nach Soja frisst den Regenwald*. Hamburg, Deutschland
23. Wirtschaftskammer Österreich 2007. *Biosprit macht unsere Spirituosen teurer*. Wien, Österreich
24. WWF 2005. *Der Hunger des Drachen - WWF warnt: Chinas Holzbedarf steigt und wird zu großen Teilen aus illegalen Quellen gedeckt*. Frankfurt, Deutschland
25. United Nations 2007. *Sustainable Bioenergy: A framework for Decision Makers*. New York, NY, USA
26. EMPA 2007. *Ökobilanz von Energieprodukten: Ökologische Bewertung von Biotreibstoffen*. St. Gallen, Schweiz
27. Ökozentrum Langenbruck 2006. *Biomasse vom Feld aus neuen Bio-Landbaumethoden*. Langenbruck, Schweiz
28. BUWAL 2002. *Umwelt Schweiz: Wir sind dabei den Boden unter den Füßen zu verlieren*. Bern, Schweiz
29. UNEP 2000. *Global Environment Outlook*. Nairobi, Kenia
30. Axpo 2006. *Zukunft Wasserkraft – Linthal 2015*. Zürich, Schweiz
31. DGS 2006. *Der Solare Energiemix*. München, Deutschland
32. PSI 2004, *Energie-Spiegel; Hoffnungsträger Wasserstoff: Was er wirklich kann*. Villigen, Schweiz

33. *ITAS 2006. Technikfolgenabschätzung – Theorie und Praxis: Wasserstoff löst keine Probleme. Karlsruhe, Deutschland*
34. *BHKW-Info 2007. <http://www.bhkw-info.de/> (August 2007)*
35. *Ökozentrum Langenbruck 2006. Dezentrale Stromerzeugung mit Feststoffbiomasse. Langenbruck, Schweiz*
36. *NZZ Online 2007. Das Grosse Umdenken geht weiter. Zürich, Schweiz*
37. *ISEA 2006. Other battery storage technologies - lead-acid batteries, high temperature batteries, hydrogen storage systems (First International Renewable Energy Storage Conference). Gelsenkirchen, Deutschland*
38. *BHKW-Info 2007. http://www.bhkw-info.de/brennstoffzellen/uebersicht/brennstoffzelle_bhkw.html (August 2007)*
39. *Austrian Energy Agency 2002. Fuel Cell Technologies for Hydrogen (Sustainability Assessment of Hydrogen Energy Systems - EURO COURSE). Lissabon, Spanien*
40. *Blick Online 2006. Bioethanol, Gas, Hybrid oder Strom: Welches ist die beste Alternative? Zürich, Schweiz*
41. *E'mobile 2007. Twingo Quickshift Elettrica: Modellinformationen. Bern, Schweiz*
42. *DAT 2007. Leitfaden zu Kraftstoffverbrauch und CO2-Emissionen. Ostfildern, Deutschland*
43. *PSI 2005. Ganzheitliche Betrachtung von Energiesystemen: Neue erneuerbare Energien und neue Nuklearanlagen: Potenziale und Kosten. Villigen, Schweiz*
44. *CHOREN 2004. Strom und Wärme aus Biomasse: Das Carbo-V®-Verfahren. Freiberg, Deutschland*
45. *Öko-Institut 2007. Treibhausgasemissionen und Vermeidungskosten der nuklearen, fossilen und erneuerbaren Strombereitstellung – Arbeitspapier. Darmstadt, Deutschland*

Glossar

Agrotreibstoffe	Treibstoffe aus landwirtschaftlichen Erzeugnissen (ohne Reststoffe)
AKW	Atomkraftwerk
ARA	Abwasserreinigungsanlage
biogene Altöle	Altöle tierischen oder pflanzlichen Ursprungs
Desertifikation	fortschreitende Wüstenbildung
GuD	Gas und Dampf
kaskadisch	mehrere hintereinander geschaltete Prozesse
KVA	Kehrichtverbrennungsanlage
kWh	Kilowattstunde
ORC	Organic Rankine Cycle (ein Verfahren des Betriebs von Dampfturbinen mit einem organischen Arbeitsmedium statt Wasser, z.B. Alkohol)
Passivhaus	Gebäude ohne aktives Heizsystem, dafür Nutzung passiver Energiequellen wie Sonne, Erdwärme und im Gebäude vorhandener Abwärme
Polygeneration	erweiterte Nutzung einer Wärme-Kraft-Anlage, welche neben Strom und Wärme zusätzlich Kälte und CO ₂ für die Düngung in Gewächshäusern liefert
polyvalent	mehrfach nutzbar
PV	Photovoltaik
Range Extender	Aggregat, das die Reichweite des Elektroautos vergrössert
stoffliche Rohstoffe	Rohstoffe, die nicht energetisch oder als Nahrungsmittel genutzt werden, z.B. Baumaterialien oder Industrieprodukte
TWh	Terawattstunde (1 Milliarde Kilowattstunden)
WKA	Wärme-Kraft-Anlage (Aggregat, das gleichzeitig Strom und Wärme produziert)
2000-Watt-Gesellschaft	Zur Sicherstellung einer nachhaltigen Energieversorgung entwickelte der ETH-Bereich das Konzept der 2000-Watt-Gesellschaft. Dieses sieht vor, dass jedem Erdbewohner 2000 Watt Energieleistung zur Verfügung stehen. Diese Energiemenge soll sicherstellen, dass jede Gesellschaft über genügend energetische Ressourcen verfügt, um sich nachhaltig zu entwickeln und einen angemessenen Wohlstand sicher zu stellen. In der Schweiz liegt der Energiebedarf heute bei einer Leistung von ca. 6000 Watt pro Person.

Bildlegende Vorderseite (v.l.n.r.) ☺:

Passivhaus Los Scalettastrasse, Chur (Gasser Passivhaustechnik)
Photovoltaik-Anlage
Elektro-Auto Panda Elektra (MES-DEA)
Transformatorstation

Bildlegende Rückseite (v.l.n.r.) ☹:

Thermografie-Bild eines schlecht isolierten Hauses
Kohlekraftwerk
Autoabgase
Öltankerunfall Jessica



