

Modell zur Szenarienanalyse über die technischen Möglichkeiten der Energiebedarfsdeckung aus erneuerbaren Quellen

*Marcus HUMMEL, Andreas WINDSPERGER
Institut für Industrielle Ökologie, 3100 St. Pölten*

Kurzfassung:

In vielen Ländern der Erde wird der Energiebedarf in erster Linie über fossile Energieträger bereitgestellt. Schwindende Vorräte und die gravierenden Auswirkungen auf die Umwelt machen es notwendig, auf ein nachhaltiges Energiesystem basierend auf erneuerbaren Quellen umzusteigen. Ziel dieser Studie ist es, die Potentiale erneuerbarer Energieträger in Österreich mit dem herrschenden Energiebedarf zu vergleichen, und Möglichkeiten für eine vollständige Bedarfsdeckung aufzuzeigen. Unter Berücksichtigung der derzeit notwendigen nicht-energetischen Nutzung von Biomasse in Lebens-, Futtermittel und Produkten sollen in verschiedenen Szenarien Wege der Bedarfsdeckung visualisiert und analysiert werden.

Um dieses Ziel zu erreichen wurde ein Modell entwickelt, das die Bereitstellungspotentiale erneuerbarer Energieträger auf der einen und den Energieträgerbedarf einer untersuchten Volkswirtschaft auf der anderen Seite gegenüberstellt und die technischen Möglichkeiten der Bedarfsdeckung aufzeigt. Diese beiden Seiten des Modells können über Parameter für Szenarien verstellt werden. Es erfolgt eine Darstellung des Energieflusses durch das sozioökonomische System. Bereiche in denen große Effizienzpotentiale und bedeutende nicht-energetische Nutzungen potentieller Energieträger herrschen, werden dabei detailliert betrachtet. Durch Änderung der Parameter kann der Einsatz einzelner Technologien in den Umwandlungsketten forciert bzw. reduziert und die Effekte untersucht werden.

Die vorliegende Arbeit hat im Gegensatz zur gegenwärtigen Meinung gezeigt, dass der österreichische Energiebedarf in weiten Bereichen mit den derzeitigen Technologien über erneuerbare Energieträger gedeckt werden kann. Durch Sanierung veralteter Gebäude und zielgerichteten Neubau könnte der Energiebedarf drastisch eingeschränkt werden. Der Bedarf könnte dann in weiten Bereichen mittels Niedertemperaturheizungen über Solarthermie und Wärmepumpen gedeckt werden. Verdichtete Siedlungsgebiete könnten zusätzlich über Fernwärme versorgt werden, die in kommunalen Heizwerken und wo dies möglich ist durch Nutzung industrieller Abwärme bereitgestellt wird. Ein Großteil der Biomasse sollte zur Bereitstellung von Prozesswärme genutzt werden. Die Mobilität könnte durch die vielversprechenden solarbasierten Strompotentiale verstärkt auf elektrische Antriebe umsteigen, mit denen hohe Wirkungsgrade im Gegensatz zu den konventionellen Antrieben möglich sind. Im Fernverkehr müsste zusätzlich Biogas und Biodiesel eingesetzt werden.

Keywords: Nachhaltiges Energiesystem, Potentiale erneuerbarer Energieträger, effiziente Technologien, statisches Prozessmodell, Szenarienanalyse

1 Einleitung

1.1 Ausgangssituation, Motivation der Arbeit

Im Jahr 2006 wurden weltweit 491 EJ Primärenergie zur Bereitstellung der nachgefragten Energiedienstleistungen benötigt, über 80 % davon stammten aus fossilen Quellen. Dies bewirkte Emissionen von rund 28 Gt CO₂ [1]. Weltweit wurden 2004 knapp 57 % (gemessen in CO₂-eq) der anthropogenen Treibhausgasemissionen durch den Einsatz fossiler Energieträger verursacht [2]. Bedenkt man die im Verhältnis zu anderen Treibhausgasen geringe Wirkung von Kohlendioxid, so ist CO₂ aus der Nutzung fossiler Energiequellen mengenmäßig mit Abstand der größte Beitrag zum anthropogenen Treibhauseffekt.

In Österreich betrug das Primärenergieaufkommen im Jahr 2005 etwa 1650 PJ, rund 1.440 PJ wurden im Inland eingesetzt [3]. Knapp 75 % des gesamten jährlichen Energieaufkommens mussten importiert werden. Im gleichen Jahr wurden 79,7 Mio. t CO₂, vorwiegend aus fossilen Quellen, und gesamt 93,3 Mio. t CO₂-eq an Treibhausgasen emittiert. Österreich hat im Jahr 2005 damit um 35,6 % mehr Treibhauspotential emittiert, als zur Zielerreichung des Kyoto-Protokolls erlaubt sein werden [4].

Abbildung 1 zeigt den End- und Nutzenergiebedarf in Österreich im Jahr 2005 nach den verschiedenen in der Nutzenergieanalyse angegebenen Nutzenergiekategorien.

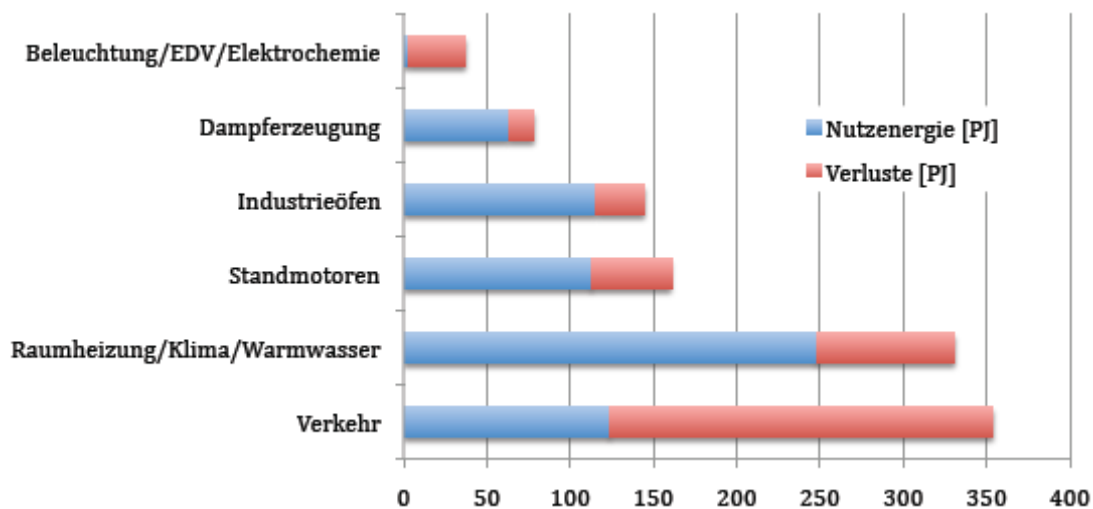


Abbildung 1: End- und Nutzenergie in Österreich 2005 (Quelle: eigene Darstellung auf Basis [5])

Der größte Anteil der in Österreich energetisch verwendeten Energieträger wird im Bereich Verkehr eingesetzt. Hier zeigt sich das große Einsparpotential bei einem Vergleich der Wirkungsgrade unterschiedlicher Antriebssysteme. Der größte Anteil des Verkehrs wird derzeit mit Verbrennungsmotoren betrieben. Dementsprechend liegt der Gesamtwirkungsgrad in dieser Kategorie bei etwa 37 %. Mit Elektromotoren könnten im Gegensatz dazu Wirkungsgrade von über 80 % erreicht werden.

Für die Beheizung bzw. Kühlung von Gebäuden bzw. zur Warmwasserbereitstellung werden ähnlich hohe Energieträgermengen eingesetzt wie im Verkehrsbereich. Österreichische Wohngebäude besitzen derzeit einen durchschnittlichen Heizwärmebedarf von 140 kWh/m²a

[6]. Durch Verbesserung der thermischen Eigenschaften der Gebäudehülle können Werte von 50 kWh/m²a erreicht werden, bei Passivhäusern sogar noch deutlich weniger. Dies würde zu einer entscheidenden Verringerung des Nutzenergiebedarfs in diesem Bereich führen.

1.2 Ziel der Untersuchung

In dieser Arbeit soll ein Bild eines österreichischen Energiesystems gezeichnet werden, das rein auf die Nutzung erneuerbarer Energiequellen beruht. Es sollen Möglichkeiten untersucht und aufgezeigt werden, den Energiebedarf Österreichs bzw. die nachgefragten Energiedienstleistungen aus im Inland zur Verfügung stehenden erneuerbaren Quellen zu decken. Die dafür notwendigen Veränderungen in den Versorgungs- und Bedarfsstrukturen, aber auch im Verbraucherverhalten sollen sichtbar gemacht werden.

In der Energieträgerbereitstellung sollen Nutzungskonkurrenzen in der Land- und Forstwirtschaft berücksichtigt werden, die sich durch die Nahrungsmittelversorgung und die Nachfrage an nachwachsenden Rohstoffen zur stofflichen Weiterverarbeitung ergeben.

Dadurch soll es möglich gemacht werden, sinnvolle Entwicklungsrichtungen im Energiesektor aufzuzeigen und Schlüsseltechnologien erneuerbarer Energieversorgung für Österreich, aber auch international zu identifizieren. Kosten und Zeitrahmen entsprechender Umstellungen des Energiesystems sollen dabei nicht betrachtet werden. Diese sollen aber, wie auch gesellschaftliche Akzeptanz, anhand der Ergebnisse diskutiert werden.

2 Methodik

Um dieses Ziel zu erreichen, wird ein Modell erneuerbarer Energiebereitstellungsketten erstellt. Zum einen wird der inländische Bedarf in seinen Strukturen modelliert, zum anderen die Potentiale an erneuerbaren Energieträgern in Österreich. Eine Gegenüberstellung von Bedarf und Potentialen auf Ebene der Energieträger macht eine Unter- oder Überdeckung bei den jeweils getroffenen Einstellungen sichtbar.

Auf der Potentialseite werden die Bereiche Land- und Forstwirtschaft aufgrund der herrschenden Konkurrenz zwischen Nahrungsmittelbereitstellung, energetischer und nicht energetischer Nutzung gewinnbarer Rohstoffe genauer untersucht. Der Energiebedarf wird in den Kategorien Raumwärme & Warmwasser und Verkehr aufgrund der herrschenden Einspar- bzw. Effizienzpotentiale tiefgehend modelliert.

Basis der Betrachtung sind Energie-, Rohstoff- und Dienstleistungsmengen bezogen auf ein Jahr. Diese werden zusammen mit technischen und naturwissenschaftlichen Zusammenhängen über Prozesse in das Modell eingebracht. Durch Parametrisierung der Prozesse können diese in ihren Werten und Eigenschaften in der Anwendung des Modells zur Szenarienanalyse, wie etwa zur Forcierung bzw. Reduktion verschiedener Technologien, leicht verändert werden. Die Prozesse werden über Energie- bzw. Rohstoffflüsse miteinander verbunden. Dadurch entsteht ein statisches Prozessmodell des jährlichen Energieflusses durch die Volkswirtschaft, wobei Energiebedarf und –aufkommen im Grundzustand des Modells nicht aufeinander abgestimmt sind, Differenzen werden über Ausgleichsglieder abgeglichen.

Als Modellierungsumgebung wird das Programm GaBi herangezogen, welches zur Erstellung von Prozessmodellen mit einer großen Anzahl In- und Outputs entwickelt wurde.

3 Aufbau und Grundeinstellung des Modells

3.1 Modellbereiche und deren Verknüpfung

Die Bilanzierung von Bedarf und Bereitstellungspotential an erneuerbaren Energieträgern erfordert eine Gegenüberstellung dieser beiden Bereiche auf einem Prozessplan. Auf diesem Prozessplan wird der Energiefluss durch die gesamte Volkswirtschaft dargestellt. Darunter liegen direkt verknüpft die Prozesspläne der modellierten Teilbereiche aus Bedarf und Bereitstellung.

Die zur Bereitstellung von Energieträgern modellierten Bereiche gliedern sich in Wasserkraft, Windkraft, Photovoltaik, tiefe Geothermie, Landwirtschaft und Forstwirtschaft. Über Technologien in diesen Bereichen werden verschiedene Energieträger bereitgestellt und in ihren Mengen an diesen Prozessplan weitergegeben. Die Energiebedarfsbereiche gliedern sich in Stromanwendungen, Raumwärme und Warmwasser, Mobilität und Antriebe und Prozesswärme. Die in diesen Bereichen benötigten Energieträger werden auf diesem Prozessplan nachgefragt. Dazwischen liegen großtechnische Umwandlungen, die sich in kommunale Heizwerke, betrieblich wärmegeführte Kraftwärmekopplung (KWK) und kommunale stromgeführte KWK unterteilen.

Um Aufschluss zu erlangen über die Fragestellung, ob die in einem Betrachtungsraum zur Verfügung stehenden Energieträger ausreichen, um einen bestimmten Bedarf in einem Betrachtungsraum zu decken, muss ein Vergleich zwischen Bedarfs- und Potentialseite auf Ebene der Energieträger erfolgen. Die großtechnische Umwandlung von Energieträgern wird dabei zwischen Bilanzierung und Bedarfsseite positioniert. Zur Ausweisung entstehender Differenzen werden Ausgleichsglieder verwendet.

Um eine übersichtliche Arbeit am Modell zu ermöglichen, werden die zur Bilanzierung herangezogenen Energieträger in den folgenden vier Gruppen zusammengefasst: Strom, Biomasse flüssig, Biomasse fest und Biogas. Prinzipiell sind unter Biomasse flüssig alle (in die Modellierung eingeflossenen) flüssigen biogenen Brenn- und Treibstoffe zusammengefasst, unter Biomasse fest alle (in die Modellierung eingeflossenen) auf holzartiger Biomasse basierenden Energieträger und unter Biogas wird durch biologische Vergasung gewonnenes Biogas in Erdgasqualität verstanden. Die bei der Papierherstellung anfallende Dicklauge wird aufgrund ihres Einsatzes als Brennstoff in der betrieblichen KWK und da keine Heizkessel zur Nutzung flüssiger Brennstoffe in der KWK modelliert werden, zur Biomasse fest gezählt.

3.2 Bereitstellung von Energieträgern

Nicht alle Potentiale erneuerbarer Energie sind auf der Bereitstellungsseite untergebracht. Solarthermie (ST) und Wärmepumpen (WP) können zwar ebenfalls als Potential erneuerbarer Energie gesehen werden, es werden aber mit diesen Technologien keine bilanzierten Energieträger bereitgestellt. Des Weiteren ist es notwendig die aus diesen

Umwandlungstechnologien bereitstellbaren Wärmemengen direkt mit dem Ort des Verbrauchs in Verbindung zu bringen. Deshalb werden diese auf der Bedarfsseite modelliert.

Potentiale aus Abfällen werden nur im detailliert untersuchten Bereich der Forstwirtschaft modelliert. Derzeit ebenfalls genutzte Abfälle wie Klärschlamm oder Restmüll werden für die Untersuchung vernachlässigt.

Es soll durch die Modellierung dieses Bereichs ein Zusammenhang zwischen verfügbaren Flächen bzw. verfügbarer Primärenergie (Wasser, Wind, Erdwärme) und den daraus bereitstellbaren Energieträgern hergestellt werden.

3.2.1 Potentiale flächenunabhängig implementierter Technologien

Bei den Technologien Wasserkraft, Windkraft und tiefe Geothermie besteht kein direkter Zusammenhang zwischen der eingesetzten Fläche und der Menge bereitgestellter Energieträger. Zur Darstellung des Strombereitstellungspotentials aus Wasserkraft werden die Sanierungspotentiale des existierenden Kraftwerksparks und der noch mögliche Neubau untersucht. Dies erfolgt auf Basis einer aktuellen Potentialstudie [7], wobei versucht wird zusätzlich der darin nicht betrachteten Auswirkungen der europaweit einzuführenden Wasserrahmenrichtlinie Rechnung zu tragen, die den Neubau von Wasserkraftwerken deutlich erschweren wird. Auf Basis dieser Überlegungen wird mit einem langfristigen Strombereitstellungspotential von etwa 150 PJ jährlich gerechnet.

Im Jahr 2007 gab es in Österreich 607 Windkraftanlagen mit einer durchschnittlichen Leistung von 1,92 MW. Eine Potentialstudie der IG Windkraft rechnet bis 2020 mit knapp 1100 Standorten [8]. Für die Einstellungen im Bereich Wind wird davon ausgegangen, dass langfristig mindestens 1300 Anlagenstandorte realisierbar sind, ein Großteil der Strombereitstellungssteigerung aber über die Vergrößerung der spezifischen Anlagenleistung erzielt wird, welche auf durchschnittlich 6 MW ansteigt (vgl. [8]). Es ergibt sich ein Potential von knapp 60 PJ Strom jährlich.

Wie groß die bereitstellbare Energiemenge aus der Nutzung tiefer Geothermie in Österreich langfristig sein kann, ist derzeit noch nicht ersichtlich. Ein relevantes vorhandenes naturwissenschaftlich-technisches Potential wird durch die hohen Kosten der Geothermie derzeit deutlich beschränkt [9]. Daher wird für diese Studie von Schätzungen von Hr. Götzl ausgegangen, deren Mittelwert bei 450 MW Anlagenleistung liegt. Das ergibt ein Energieträgerpotential von knapp 0,65 PJ Wärme und Strom.

3.2.2 Widmung von nutzbaren Solarstrahlungsflächen

In der Land- und Forstwirtschaft wird solare Strahlung zur Bereitstellung von Nahrungsmitteln und Rohstoffen für die stoffliche Weiterverarbeitung genutzt. Daneben kann sowohl in der Land- und Forstwirtschaft, als auch über Photovoltaik und Solarthermie solare Einstrahlung zur Bereitstellung von Energieträgern eingesetzt werden. Daraus ergibt sich eine natürliche Konkurrenz zwischen diesen Nutzungspfaden. In der Modellierung wird in einem ersten Ansatz nicht davon ausgegangen, dass eine Verschiebung zwischen landwirtschaftlichen, forstwirtschaftlichen und infrastrukturellen Flächen erfolgen wird.

In der Modellierung der Photovoltaik wird zwischen gebäudeintegrierten und nachgeführten Anlagen unterschieden. Gebäudeintegrierte Anlagen auf Dachflächen werden dabei mit dem vorhandenen Häuserbestand, der auf der Bedarfsseite des Modells implementiert ist, über

Nutzbarkeitsfaktoren verknüpft. Auch erfolgt eine Aufteilung energetisch nutzbarer Dachflächen zwischen Photovoltaik und Solarthermie (siehe dazu Kapitel 3.4.1). Für nachgeführte Anlagen wird angenommen, dass 1500 ha derzeitige Stilllegungsflächen aus der Landwirtschaft genutzt werden können. Zur technologischen Entwicklung der Photovoltaik wird mit einer spezifischen Leistung von zukünftig knapp 200 W_p/m² gerechnet (vgl. [10] & [11]). Bei typischen solaren Erträgen der unterschiedlichen Anlagenstandorte ergibt sich ein Potential von knapp 95 PJ Strom jährlich.

In der Modellierung der Landwirtschaft wird davon ausgegangen, dass die heutige Versorgung mit Lebensmitteln, Futtermitteln und Rohstoffen zur stofflichen Weiterverarbeitung aufrechterhalten wird. Eine verstärkt ökologisch ausgerichtete Tierhaltung würde extensive Grünlandflächen stärker nutzbar machen. Dadurch nicht für die tierische Produktion benötigte Grünlandflächen werden in der Modellierung, reduziert um einen Nutzungsfaktor, zur Energiebereitstellung herangezogen. Aus den anfallenden Graserträgen wird Biogas erzeugt. Die in der Tierhaltung anfallenden Exkremate werden zum Teil für die Biogasbereitstellung herangezogen abhängig davon welche Haltungsform unterstellt wird. Auf Ackerflächen, die nicht zur Bereitstellung von Nahrungsmitteln und Ausgangsprodukten stofflicher Weiterverarbeitung gebraucht werden, das entspricht den derzeit schon energetisch genutzten Flächen plus Bracheflächen, werden im derzeitigen Ansatz Ölpflanzen zur Biodieselbereitstellung angepflanzt. Das Modell würde aber auch den Anbau von Stärke- oder Lignocellulosepflanzen auf diesen Flächen erlauben. Das bei der Getreideernte anfallende Stroh wird teilweise energetisch verwertet, wobei daraus Biogas bereitgestellt wird. Das in der Landwirtschaft bereitgestellte Biogas wird in der Modellierung anschliessend auf Erdgasqualität gereinigt. Bei diesen Einstellungen werden aus der Landwirtschaft knapp 85 PJ Biogas und etwa 7 PJ Biodiesel jährlich bereitgestellt. Als Quellen dienten in diesem Bereich vor allem [12], [13], [14] sowie Berichte der Statistik Austria zu den Feldfruchternten aus verschiedenen Jahren.

Im Bereich der Forstwirtschaft werden Rohstoffquellen aus dem Wald, aus der Landschaftspflege sowie Energieholzplantagen betrachtet. Es wird angenommen, dass der Ertragswald langfristig zu etwa 85% genutzt werden kann (vgl. [15], [16]) und sich dessen Zusammensetzung nicht verändern wird. Weiters wird damit gerechnet, dass Landschaftspflegeholz ebenfalls verstärkt mobilisiert werden kann. Im Gegensatz dazu wird nicht damit gerechnet, dass für Energieholzplantagen im Vergleich zu derzeit weitere Flächen gewidmet werden. Für die Einstellungen in der stofflichen Nutzung holzartiger Biomasse wird angenommen, dass die Sägeindustrie unmittelbar mit den Holzeinschlag zusammenhängen, also die anfallenden nutzbaren Holzmengen einsetzt. Für die Papier- und Plattenindustrie wird vereinfacht angenommen, dass sich deren Produktionskapazitäten nicht verändern¹. Fertigprodukte der sonstigen Holzverarbeitung kommen teilweise nach deren Lebens- bzw. Einsatzzeit für eine energetische Verwertung in Frage. In der Modellierung werden diese deshalb reduziert um einen Nutzbarkeitsfaktor als fester biogener Energieträger berücksichtigt. Produkte der Papierindustrie werden für eine energetische Verwertung vernachlässigt, da angenommen wird, dass der Großteil des Altpapiers wieder zur Produktion neuen Papiers herangezogen wird. Die in der Zellstoffherstellung anfallende Dicklauge wird aber als Energieträger berücksichtigt. Potentiale, die sich aus einer

¹ Zur Produktionscharakteristik der holzverarbeitenden Industrie siehe [17]

eventuellen energetischen Nutzung von Produkten der Plattenindustrie ergeben, werden nicht betrachtet. Bei den beschriebenen Einstellungen ergeben sich langfristige Potentiale forstlicher Biomasse von jährlich 98 PJ, zuzüglich etwa 23 PJ Dicklaube und 21 PJ Altholz.

3.2.3 Ergebnisse der Potentialuntersuchung

Die folgende Tabelle zeigt die Ergebnisse der Potentialuntersuchung und stellt diese in Kontext zu den derzeit aus im Inland vorhandenen erneuerbaren Quellen bereitgestellten Energieträgermengen.

Tabelle 1: Bereitstellung von Energieträgern aus erneuerbaren Quellen derzeit und bei beschriebenen Modelleinstellungen

| Bereitstellung aus inländischen erneuerbaren Quellen | | |
|--|--------------|---------------------------------|
| [PJ/a] | derzeit | bei beschriebenen Einstellungen |
| Strom | 140.1 | 303.4 |
| Biogas | 3.0 | 84.4 |
| Biomasse flüssig | 1.2 | 7.0 |
| Biomasse fest | 117.9 | 98.0 |
| Wärme aus Geothermie | 0.6 | 4.7 |
| Gesamt | 262.8 | 497.5 |

Es zeigt sich ein hohes Potential an Strom, sowie nennenswerte Bereitstellungspotentiale an Biogas und fester Biomasse. Die Potentiale an flüssiger Biomasse sind vergleichsweise sehr gering. Durch die autarke Versorgung Österreichs auch mit Rohstoffen für die holzverarbeitende Industrie und die damit einhergehende Substitution derzeit importierter Holz-mengen ergibt sich ein langfristig geringeres Energieträgerpotential aus forstlicher Biomasse als derzeit eingesetzt wird.

Bezüglich der in Tabelle 1 angeführten Werte ist weiters festzuhalten: Die Potentiale an Biogas haben noch nicht Erdgasqualität, daher vermindert sich das Potential hier noch leicht. Die Werte für feste Biomasse beinhalten noch nicht die Potentiale aus Laube und Altholz und die Potentiale an Strom erhöhen sich noch um den Beitrag aus der Energieträger-umwandlung in der Kraftwärmekopplung.

3.3 Großtechnische Umwandlungen von Energieträgern

Im Bereich der großtechnischen Umsetzung von Energieträgern werden industrielle KWK-Anlagen zur Bereitstellung von Prozessdampf, KWK Anlagen regionaler Energie-versorgungsunternehmen (EVU) zur Stromerzeugung und kommunale Heizwerke zur Bereitstellung von Fernwärme modelliert. Thermische Kraftwerke ohne Nutzung der entstehenden Wärme werden durch deren geringe Gesamteffizienz in dieser Arbeit nicht betrachtet. Die innerbetriebliche wärmegeführte KWK wird in den erzeugten Mengen durch die Nachfrage an Prozessdampf bestimmt. Die stromgeführte kommunale KWK erzeugt festgelegte Strommengen und speist diese in das Stromnetz. Im Jahr 2005 wurden über KWK Anlagen der EVUs etwa 18,9 PJ Strom erzeugt [18], dies wird für die Grundeinstellungen übernommen. Der Strom wird zur auf der Bereitstellungsseite erzeugten Strommenge

addiert, die anfallende Fernwärme wird in das Nahverteilnetz gebracht. Fernwärme wird weiters über tiefe Geothermie und optional durch Nutzung industrieller Abwärme in das Netz gespeist. Die Differenz zwischen der Menge an Fernwärme aus den beschriebenen Quellen und dem Fernwärmebedarf wird über die kommunalen Heizwerke gedeckt.

3.4 Endenergetischer Bedarf an Energieträgern

Um realistische Struktur- und Technologieänderungen im Energiebedarf abbilden zu können, muss untersucht werden für welchen Zweck welcher Energieträger in welcher Menge benötigt wird. Für die Modellierung erfolgte eine Einteilung des endenergetischen Einsatzes in die folgenden vier Bereiche, wobei in Klammer die jeweils entsprechenden Nutzenergiekategorien aus der österreichischen Nutzenergieanalyse angegeben werden: Raumwärme und Warmwasser (Raumwärme/Warmwasser), Mobilität und Antriebe (Verkehr, Standmotoren), Prozesswärme (Industrieöfen, Dampferzeugung), Stromeinsatz (Beleuchtung & EDV, Elektrochemische Zwecke, Klimaanlage).

Die Grundeinstellungen der Bedarfsseite orientieren sich an der derzeitigen inländischen Situation. In einigen Bereichen werden momentan eingesetzte Anwendungstechnologien wegen absehbarem Energieträgermangel nicht modelliert. Dies betrifft z.B. Ölheizungen zur Raumwärmebereitstellung. Dadurch entspricht der endenergetische Energieträgerbedarf nicht vollständig der heutigen Situation. Weiters werden Bedarfsbereiche teilweise nicht in der Modellierung betrachtet (vgl. Kapitel 3.4.1 und 3.4.2).

Es soll durch die Modellierung dieses Bereichs ein Zusammenhang zwischen Nutzenergie (in allen modellierten Bereiche) bzw. Energiedienstleistung (Raumwärme & Warmwasser, Verkehr) und den dafür benötigten Energieträgern hergestellt werden.

3.4.1 Über Dienstleistungsnachfrage modellierte Bereiche

Sowohl im Verkehr als auch bei Raumwärme & Warmwasser sind einerseits die Bedarfszusammensetzung aber auch die zur Bereitstellung in Frage kommenden Technologien vom Ort der Verwendung abhängig. Genauer gesagt von der Dichte der jeweiligen Siedlung. In beiden Bereichen werden für diese Untersuchung zwei Siedlungsdichtekategorien (Stadt, Land) verwendet, die über die Anzahl der in den jeweiligen Bereichen lebenden Einwohner gerechnet wird. Dabei wird angenommen, dass aufgrund der unterschiedlichen Anforderungen für Mobilität und Wärme, die Verteilung auf die beiden Kategorien nicht die gleiche ist. Im Wärmebereich wird als städtisch die in Ballungsräumen lebende Bevölkerung gerechnet, während im Verkehrsbereich die Einwohner der acht größten Städte und die in direkter Umgebung lebende Bevölkerung gerechnet wird.

Der Ansatz ist in diesen beiden Bereichen eine bestimmte Dienstleistungsmenge und Zusammensetzung über eine bestimmte Kombination aus verschiedenen möglichen Technologien bereitzustellen. Je nach Siedlungsdichte und zu versorgender Einheit unterscheiden sich die in Frage kommenden Technologien und Technologiekombinationen. Diese können für eine Szenarienanalyse einfach variiert werden.

Die Technologien zur Bereitstellung von Raumwärme und Warmwasser unterscheiden sich nicht nur nach Größe und Dichte der Siedlung, sondern auch nach der Größe der zu versorgenden Einheit. Es werden im Wärmebereich Wohngebäude und Nichtwohngebäude

unterschieden, wobei Wohngebäude in Ein- & Zweifamilienhäuser und Mehrfamilienhäuser aufgeteilt werden. Der Wärmebedarf (Nutzenergiemenge) dieser Einheiten wird separat über Heizwärme- bzw. Warmwasserbedarf berechnet und durch eine jeweils individuell eingestellte Technologiekombination gedeckt. Folgende Technologien werden in der Modellierung berücksichtigt: Wärmepumpen, Solarthermie, Fernwärme, Hackschnitzel-, Pellets-, Scheitholz- sowie Gasheizungen. Weiters werden die potentiell energetisch nutzbaren Dachflächen aus dem vorhandenen Gebäudebestand über das gebäudegrößen-spezifische Verhältnis zur Wohnnutzfläche errechnet. Die für das Verhältnis jeweils gewählten Werte orientieren sich dabei an einer Studie der IEA [19]. Diese Dachflächen werden zwischen Photovoltaik und Solarthermie aufgeteilt. Bei den Ein- & Zweifamilienhäusern wird das Verhältnis mit 60 % PV und 40 % ST festgelegt. Bei Mehrfamilienhäusern und Nichtwohngebäuden werden die gesamten Flächen der PV gewidmet, da in diesem Bereich keine ST modelliert wird. Hauptdatenquellen sind für den Wärmebereich [6], [20], [21], [22] sowie die ECOINVENT Datenbank für die Charakteristik der eingesetzten Technologien. Die Nutzenergieanalyse weist für das Jahr 2005 einen Nutzenergiebedarf von 248 PJ im Bereich Raumwärme, Warmwasser und Klimaanlage aus [23]. Anzumerken ist, dass hierbei die in Form von Warmwasser für Haushalte benötigten Energiemengen nicht einberechnet sind, diese werden in der Energiebilanz im Bereich Industrieöfen ausgewiesen [24]. Die disaggregierte Modellierung dieses Bereichs ergibt mit den beschriebenen Einstellungen einen Nutzenergiebedarf von 192 PJ für das gleiche Jahr. Diese Differenz wird auf folgende Gründe zurückgeführt: Betriebsgebäudeheizung, Trocknung, Belüftung und Kühlung in der Landwirtschaft, sowie Warmwasser und Raumwärmebedarf in Industriegebäuden und Werkstätten konnten aufgrund fehlender Daten nicht in der Modellierung berücksichtigt werden. Mit großen Unsicherheiten behaftet sind weiters die Daten zu spezifischen Bedarfswerten im Nichtwohngebäudebereich, sowie zum Anteil beheizter Wohnflächen und zum Nutzerverhalten.

In der Modellierung des Verkehrsbereichs wird der Traktionsbedarf von Personen und Gütern getrennt behandelt, da sich dabei die Bedarfsstrukturen und auch die anwendbaren Technologien unterscheiden. Sowohl für den Personen- als auch für den Güterverkehr ist für die Einsetzbarkeit von verschiedenen Technologien von entscheidender Bedeutung, wie groß die zurückgelegten Distanzen sind und welches Transportmittel dafür gewählt wird. Im Personenverkehr ist für die Wahl des Transportmittels ebenfalls die Struktur der umgebenden Siedlung entscheidend. Je dichter die Siedlung ist, desto eher können öffentliche Verkehrsmittel eingesetzt werden. Im Modell wird der Personenverkehr in Städten (inklusive Umland) und ländlichen Regionen unterschieden, weiters in kurze (< 5 km) und lange (> 5 km) Distanzen aufgeteilt und die derzeitige Verteilung der dafür gewählten Transportmittel berücksichtigt. Der Güterverkehr wird auf Strasse und Schiene und in Nah- und Fernverkehr unterteilt. Die Nutzenergiekategorie Standmotoren wird in der Modellierung ebenfalls in diesem Bereich behandelt. Es handelt sich dabei um ortsfest arbeitende Motoren, die ebenfalls dazu dienen Maschinen anzutreiben. Für einen Zusammenhang zwischen benötigter Energie und erbrachtem Nutzen im Verkehrsbereich ist eine Berechnung der sogenannten Verkehrsleistung (Personenkilometer [pkm] bzw. Tonnenkilometer [tkm]) in der genannten Struktur notwendig. Eine Aufteilung der gesamten Verkehrsleistungen auf die verschiedenen Transportmittel und Distanzen erfolgte vorwiegend auf Basis von [25], [26], [27] und [28]. Zur Bereitstellung der nachgefragten

Verkehrsleistungen werden verschiedene Verkehrsmittel unterschiedlicher Beladungspotentiale und spezifischer Energiebedarfe modelliert, die mit flüssigen oder gasförmigen biogenen Treibstoffen sowie Strom arbeiten. Die „Off-Road“-Traktion aus der Land- und Forstwirtschaft und die Standmotoren werden auf Basis Nutzenergie in die Modellierung implementiert. Hier wird unterstellt, dass die „Off-Road“-Traktion mit flüssigen biogenen Energieträgern und die Standmotoren rein mit elektrischer Energie versorgbar sind. Die Nutzenergieanalyse weist für das Jahr 2005 einen Nutzenergiebedarf von 124 PJ im Bereich Verkehr aus [23]. Dabei werden die für Traktion benötigten Energieträger in den Bereichen Eisenbahn, Sonstiger Landverkehr, Schifffahrt, Transport in Rohrleitungen, Flugverkehr sowie „Off-Road“-Traktion zusammengefasst. Für den Personen- und den Güterverkehr ergibt die Modellierung einen Nutzenergiebedarf von knapp 68 PJ im gleichen Jahr. Bedenkt man, dass der nicht modellierte Flugverkehr etwa 12 PJ ausmacht [29], ein preisbedingter Treibstoffexport von etwa 36 PJ vermutet wird [4], der Schiffsverkehr mit nur knapp 1 PJ vernachlässigt wurde, und dass in Rohrfernleitungen Energieträgertransport stattfindet, welcher in die Modellierung an anderer Stelle einfließt (vgl. Kapitel 3.5), so stimmt das Ergebnis der disaggregierten Modellierung gut mit der derzeitigen Situation überein.

3.4.2 Über Nutzenergienachfrage modellierte Bereiche

Die Bereiche Stromanwendungen (Beleuchtung & EDV, Elektrochemische Zwecke, Klimaanlagen) und Prozesswärme (Industrieöfen, Dampferzeugung) werden über nachgefragte Nutzenergiemengen in das Modell implementiert. Hier werden für diese Untersuchung anwendungs- und energieträgerspezifische Wirkungsgrade für die unterschiedlichen Technologien eingesetzt.

Im Bereich Prozesswärme wird der nachgefragte Dampf aus der betrieblichen wärmegeführten KWK bereitgestellt. Nach der industriellen Nutzung kann ein Teil der Abwärme als Fernwärme nachgenutzt werden, für die Grundeinstellungen ist dies nicht der Fall. Bei Industrieöfen werden derzeit eingesetzte fossile Energieträger durch erneuerbare substituiert. Neben dem aus biologischer Vergasung zur Verfügung stehenden Biogas wird dabei auch aus holzartiger Biomasse durch thermische Vergasung und anschließender Methanierung bereitgestelltes Bio-SNG² eingesetzt. Es wird weiters angenommen, dass die derzeit jährlich eingesetzten 16 PJ Kohle hauptsächlich in Bereichen eingesetzt werden, in denen ein direkter Kontakt mit der Kohle notwendig ist. Diese Bereiche werden in dieser Untersuchung nicht betrachtet.

3.4.3 Ergebnisse der Modellierung des Energiebedarfs

Die folgende Tabelle fasst Nutz- und Endenergiebedarf bei den beschriebenen Modelleinstellungen zusammen.

Tabelle 2: Endenergiebedarf und Nutzenergie bei den beschriebenen Modelleinstellungen

| [PJ/a] | Endanwendung Strom | Mobilität & Antriebe | Raumwärme & Warmwasser | Prozesswärme | Gesamt |
|-------------------|--------------------|----------------------|------------------------|--------------|--------|
| Endenergie | | | | | |
| Strom | 38,3 | 128,0 | 0 | 18,9 | 185,2 |
| Biomasse flüssig | 0 | 171,0 | 0 | 0 | 171,0 |

² Bio-SNG ... Biological Synthetic Natural Gas

| | | | | | |
|----------------------|------|-------|-------|-------|-------|
| Biogas | 0 | 26,3 | 52,7 | 0 | 79,0 |
| Biomasse fest | 0 | 0 | 143,0 | 99,0 | 242,0 |
| Fernwärme | 0 | 0 | 67,5 | 0 | 67,5 |
| Prozessdampf | 0 | 0 | 0 | 66,9 | 66,9 |
| <i>Summe</i> | 38,3 | 325,3 | 263,2 | 184,8 | 811,6 |
| Nutzenergie | 2,9 | 184,0 | 215,0 | 144,0 | 545,9 |
| Nutzen/Bedarf | 0,08 | 0,57 | 0,82 | 0,78 | 0,67 |

Zu bedenken ist bei diesen Werten, dass speziell was die benötigten Energieträger betrifft, die heutige Situation nur angenähert abgebildet wird, da in einigen Bereichen nicht heute stark eingesetzte Technologien auf Basis fossiler Rohstoffe modelliert wurden. So sind beispielsweise im Bereich der Raumwärmebereitstellung keine flüssigen biogenen Energieträger verknüpft, da sich schon rasch in der Untersuchung herausstellte, dass kaum genügend Potential in Österreich vorhanden ist, um diese in Bereichen einzusetzen, in denen andere Technologien ein großes Substitutionspotential erbringen können.

3.5 Transport von Energieträgern

Die Transportverluste von Strom werden mit den derzeit durchschnittlichen österreichweiten Leitungsverlusten angesetzt. Für den Transport von Biogas in Rohrleitungen wird die gleiche Energiemenge angesetzt, wie beim Transport von Erdgas und vom Energieinhalt der transportierten Biogasmenge abgezogen, da ein Großteil der dafür notwendigen Pumpen mit Gas betrieben wird. Für den Transport flüssiger biogener Brennstoffe wird aufgrund des in Österreich geringen Potentials nicht angenommen, dass diese in Rohrleitungen transportiert werden. Der Transport wird wie auch bei festen biogenen Energieträgern über die Strasse bzw. die Schiene ausgeführt werden, wobei hier angenommen wird, dass diese Mengen in den derzeitigen Transportleistungen enthalten sind.

4 Szenarienanalyse

Im Grundzustand des Modells stehen auf der einen Seite langfristig nachhaltig realisierbar scheinende Potentiale erneuerbarer Energieträger und demgegenüber die derzeitige Bedarfssituation mit teilweise leichten Veränderungen in den Endanwendungstechnologien. Abbildung 2 zeigt das modellierte Energieflussbild bei den Grundeinstellungen.

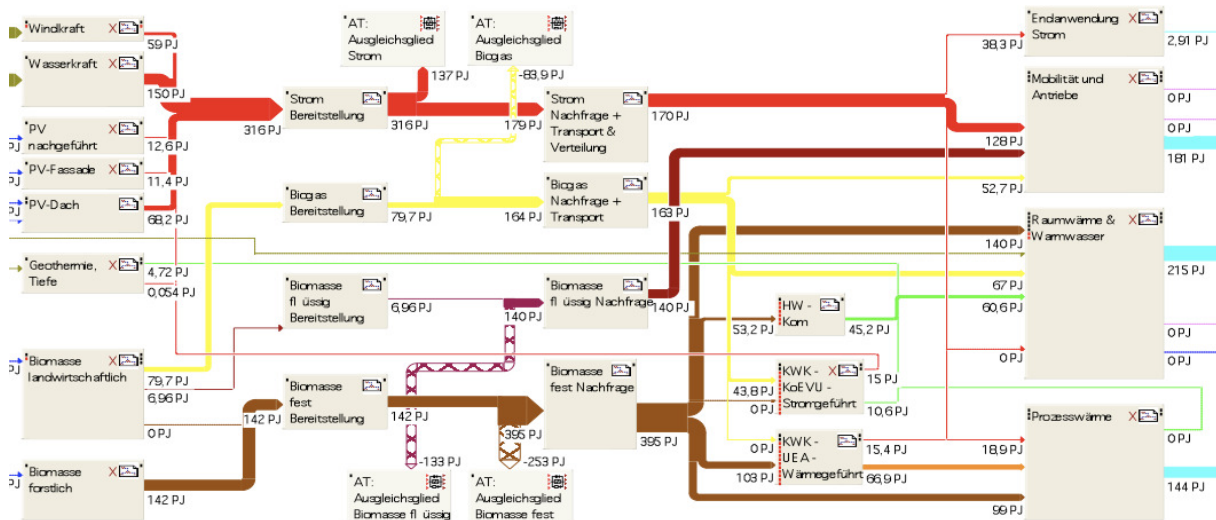


Abbildung 2: Energieflussbild Österreich bei Grundeinstellungen

Es zeigt sich, dass mehr Strom zur Verfügung stünde als derzeit gebraucht wird. Alle anderen Energieträger wären auch langfristig nicht in ausreichendem Maße vorhanden, um bei der heutigen Bedarfssituation bzw. mit den heute eingesetzten Technologien die fossilen Energieträger zu substituieren.

In drei aufeinander aufbauenden Szenarien werden auf der Bedarfsseite Veränderungen simuliert, um den Bedarf an die Bereitstellungspotentiale anzunähern. In einem ersten Schritt wird der derzeitige Raumwärmebedarf der vorhandenen Gebäude gesenkt. Dazu müssten vorhandene Gebäude in Österreich thermisch saniert oder durch neue mit höheren Standards in Bezug auf den Heizwärmebedarf ersetzt werden. Für das Szenario werden die Heizwärmebedarfswerte der Wohngebäude etwa halbiert (vgl. Kapitel 1.1), Nichtwohngebäude bleiben unverändert. In einem zweiten Szenario werden die zur Deckung des gesenkten spezifischen Raumwärmebedarfs eingesetzten Technologien angepasst. Zur Anwendung kommen Solarthermie, Wärmepumpen und in verdichteten Siedlungsgebieten zusätzlich Fernwärme, dabei wird ein essentieller Teil der Fernwärme durch Nutzung industrieller Abwärme bereitgestellt. Im dritten Szenario erfolgen Veränderungen im Verkehrsbereich. Der Kurzstreckenbereich im Personenverkehr wird vollkommen auf Strom umgestellt. Dies gilt sowohl für öffentlichen als auch Individualverkehr. Bei längeren Wegen wird zusätzlich Biogas zur Verfügung gestellt. Flüssige Brennstoffe werden ob ihres geringen Potentials gänzlich aus dem Personenverkehr herausgenommen. Im Güterverkehr wird der Nahbereich großteils mit Biogas versorgt. Zusätzlich wird der Anteil des über die Schiene transportierten Fernverkehrs von derzeit 37 auf 70 % erhöht.

Durch die in den Szenarien dargelegten Veränderungen auf der Bedarfsseite des Energiesystems können wesentliche Schritte in Richtung Energiebedarfsdeckung aus erneuerbaren Quellen erzielt werden.

Tabelle 3 zeigt einen quantitativen Vergleich zwischen den Grundeinstellungen des Modells und den Ergebnissen der aufeinander aufbauenden Szenarien.

Tabelle 3: Vergleich der Bedarfsdeckung bei Grundeinstellungen und nach den Szenarien

| [PJ] | Bereitstellung - Bedarf | |
|------------------|-------------------------|-----|
| | alt | neu |
| Strom | +137 | +87 |
| Biogas | -84 | -60 |
| Biomasse flüssig | -133 | -5 |
| Biomasse fest | -255 | -63 |

Es zeigt sich, dass durch den verstärkten Einsatz von Strom der Bedarf an biogenen Brenn- und Treibstoffen drastisch verringert werden kann. Von einer Bedarfsdeckung ist man bei diesen Energieträgern nicht mehr sehr weit entfernt. Gleichzeitig ist Strom noch in ausreichendem Maße vorhanden, was für eine weitere Orientierung des Systems Richtung Strom spricht.

Bei Biogas wurden die Bedarfsersparnisse aus dem Raumwärmebereich durch die Umlagerung in den Verkehrssektor teilweise ausgeglichen. Insgesamt wird eine Bedarfsreduktion um etwa 25 % erzielt. Dafür kann durch die getroffenen Umstellungen der Bedarf an flüssigen Brenn- und Treibstoffen nahezu gedeckt werden. Festzuhalten ist aber, dass diese durch das sehr geringe Aufkommen kaum zur Bedarfsdeckung beitragen. Feste Biomassebrennstoffe werden durch die getroffenen Umstellungen fast ausschließlich im industriellen Bereich eingesetzt. Zwar konnte dadurch das Bereitstellungsdefizit um 75 % gesenkt werden, doch reichen die vorhandenen Potentiale nicht aus, um den industriellen Bedarf zu decken.

Um eine vollständige Bedarfdeckung zu erreichen ist eine weitere Orientierung am Energieträger Strom sinnvoll. In den derzeitigen Einstellungen werden etwa 15 PJ Strom in der KWK aus etwa 40 PJ Biogas bereitgestellt, daneben fallen etwa 10 PJ Fernwärme an. Durch Abschaltung der KWK könnte diese Biogasmenge eingespart werden, wobei der Strom dadurch immer noch ausreichend gedeckt wäre. Die verlorene Fernwärme könnte über eine stärkere Nutzung industrieller Abwärme oder durch kommunale Heizwerke über feste Biomassebrennstoffe substituiert werden. Das Defizit bei festen Biomassebrennstoffen könnte durch eine verstärkte Nutzung strombetriebener Öfen in der Industrie verringert werden. Hier sind weitere Untersuchungen zur technischen Durchführbarkeit notwendig. Auch ist festzuhalten, dass eine Nutzung solarthermischer Anlagen für industrielle Zwecke in die Modellierung derzeit nicht eingeflossen ist. Dadurch ließe sich Biomasse einsparen ohne auf einen anderen Energieträger umsteigen zu müssen.

5 Ergebnisse und Schlussfolgerungen

Durch eine realistische Reduktion des Energiebedarfs, den erweiterten Einsatz bestehender Technologien und die Ausreizung der Potentiale erneuerbarer Energie, erscheint eine vollständige Energiebedarfsdeckung Österreichs aus inländischen erneuerbaren Quellen aus technischer Sicht möglich. Eine vorrangige Orientierung am Energieträger Strom wäre dabei eine aussichtsreiche Option, da dieser sehr hohe Wirkungsgrade in der Anwendung ermöglicht und bei Forcierung solarer Strombereitstellung und absehbarer Verbesserung der Photovoltaiktechnologie in erheblichen Mengen erneuerbar zur Verfügung stehen kann.

Gleichzeitig müsste die Speicherfähigkeit von Strom erhöht werden, um die Schwankungen des solaren Angebots auszugleichen.

In der Energiebedarfsstruktur müssten auf dem Weg zu einem nachhaltigen Energiesystem grundlegende Änderungen erfolgen. Im Raumwärmebereich, der zur Zeit etwa ein Drittel des Gesamtbedarfs ausmacht, ließe sich eine Bedarfsreduktion um über 50 % durch thermische Sanierung und zielgerichteten Neubau technisch realisieren. Bei Forcierung der Passivhaustechnologie sogar noch deutlich mehr. Der verminderte Bedarf könnte dann vorwiegend mittels Niedertemperaturheizungen über Solarthermie und Wärmepumpen bereitgestellt werden. Diese Technologien verursachen in der Anwendung keinen oder nur einen geringen Energieträgerbedarf, daher können auch bei erneuerbarer Ausrichtung maßgebliche Beiträge zur Bedarfsdeckung geleistet werden. In verdichteten Siedlungsgebieten ist die Versorgung durch Fernwärme aus kommunalen Heizwerken und wo immer dies möglich ist aus industrieller Abwärme sinnvoll. Die Nutzung industrieller Abwärme ermöglicht dabei ebenfalls große Effizienzsteigerungen, da für deren Bereitstellung keine zusätzlichen Energieträger benötigt werden.

Die Untersuchungen haben auch gezeigt, dass die Potentiale biogener Brenn- und Treibstoffe bei gleichzeitiger Deckung der Nachfrage nach Lebensmitteln und biogenen Rohstoffen zur nicht energetischen Nutzung verhältnismäßig gering sind. Eine Forcierung der Bereitstellung flüssiger Treibstoffe der ersten Generation hätte direkte Auswirkungen auf die Deckung des Lebensmittelbedarfs, hier sind die Potentiale deshalb vergleichsweise gering. Biogas verspricht deutlich bessere Potentiale, da zu dessen Bereitstellung verschiedenste Substrate eingesetzt werden können, vor allem auch Reststoffe und landwirtschaftliche Rückstände, die für kaum andere Nutzungen geeignet sind. Durch derzeit nicht in die Modellierung eingeflossene integrierte Landwirtschaftssysteme mit Bioraffinerie-Konzepten könnten noch bedeutende Potentialsteigerungen bei Biogas und teilweise bei Bioethanol entstehen. Holzartige Biomasse wird ebenfalls stark in der stofflichen Nutzung gebraucht, will man sich von ausländischen Holzimporten unabhängig machen. Hier hat sich gezeigt, dass, geht man von einem stationären System aus, eine energetische Nutzung von Holzprodukten nach deren Lebenszeit bei gleichem biogenen Energieeinsatz letztlich die effizientere Ressourcennutzung darstellt, als eine verstärkt energetisch ausgerichtete Holznutzung.

Wegen der Konkurrenz von Biomassebrennstoffen mit der stofflichen Nutzung, sollte deren energetische Nutzung in jenen Bereichen forciert werden, in denen kaum andere Technologien zur Verfügung stehen. Holzartige Biomasse würde dabei fast vollständig zur industriellen Wärmebereitstellung gebraucht werden. Flüssige biogene Treibstoffe können durch ihr geringes Potential nur einen Bruchteil des Mobilitätsbedarfs decken. Strom hingegen hätte bei Forcierung solarer Bereitstellung in Zukunft das Potential für einen Großteil der Mobilität und darüber hinaus zusätzlichen Beiträgen zur Strombereitstellung aufzukommen. Photovoltaik könnte auf vielen Flächen eingesetzt werden, die kaum für andere Nutzungen in Frage kommen. Hierzu zählen vor allem gebäudeintegrierte Lösungen.

Neben Strom könnte in der Mobilität auf längeren Strecken auch Biogas verwendet werden, solange elektrische Antriebe durch die derzeit nicht weit genug fortgeschrittene Speichertechnologie noch schwerer einsetzbar sind. Gerade im Verkehrsbereich müssten für eine vollständige Bedarfsdeckung aus erneuerbaren Quellen neue Konzepte erarbeitet

werden. Ein Energieträgerwechsel von flüssigen Brennstoffen hin zu strombetriebenen Fahrzeugen wäre eine einschneidende Umstellung, die mit neuen Fahrzeug-, Mobilitäts- und Raumordnungskonzepten einhergehen müsste. Bei der Untersuchung zeigte sich auch, dass eine teilweise Verschiebung des Güterfernverkehrs von der Strasse auf die Schiene einer der effektivsten Schritte in Richtung Effizienzsteigerung und Bedarfsdeckung ist. Der Mehrbedarf an Strom im Gesamtsystem scheint aus erneuerbaren Quellen bereitstellbar, darüber hinaus würden biogene Potentiale für effizientere Nutzungen frei werden.

Für eine vollständige Energiebedarfsdeckung aus erneuerbaren Quellen sind also einschneidende Strukturänderungen notwendig. Die Untersuchung hat aber gezeigt, dass man technologisch von einer Umsetzbarkeit nicht mehr sehr weit entfernt ist.

Literatur:

- [1] IEA, *World Energy Outlook 2008*, Paris: OECD/IEA, 2008.
- [2] L. Bernstein, P. Bosch, O. Canziani, Z. Chen, R. Christ, O. Davidson, W. Hare, S. Huq, D. Karoly, V. Kattsov, Z. Kundzewicz, J. Liu, U. Lohmann, M. Manning, T. Matsuno, B. Menne, B. Metz, M. Mirza, N. Nicholls, L. Nurse, R. Pachauri, J. Palutikof, M. Parry, D. Qin, N. Ravindranath, A. Reisinger, J. Ren, K. Riahi, C. Rosenzweig, M. Rusticucci, S. Schneider, Y. Sokona, S. Solomon, P. Stott, R. Stouffer, T. Sugiyama, R. Swart, D. Tirpak, C. Vogel, und G. Yohe, *Climate Change 2007: Synthesis Report of the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, 2007.
- [3] B. Mayer, *Die Energiesituation Österreichs im Jahr 2005 mit statistischen Übersichten und Kennzahlen*, Wien: Statistik Austria, 2006.
- [4] UBA, *Kyoto-Fortschrittsbericht Österreich 1990-2005*, Wien: Umweltbundesamt (UBA), 2007.
- [5] Statistik Austria, *Nutzenergieanalyse 2005*, 2008.
- [6] G. Lang, *Erhebung CO₂ Emissionen und Energieverbrauch für Wohngebäude im Bestand und Neubau in Österreich für den Berichtszeitraum 2008 – 2020 zur Zielerreichung der EU - Klimastrategie*, Wien: IG Passivhaus Österreich, 2007.
- [7] Pöyry, *Wasserkraftpotentialstudie Österreich - Kurzfassung*, 2008.
- [8] S. Hantsch und S. Moidl, *Das realisierbare Windkraftpotenzial in Österreich bis 2020*, St.Pölten: 2007.
- [9] G. Götzl, "Interview geführt von Marcus Hummel und René Boltz in der Geologischen Bundesanstalt," Okt. 2008.
- [10] H. Fechner, A. Lugmaier, D. Suna, G. Resch, R. Haas, und A. López-Polo, *Technologie-Roadmap für Photovoltaik in Österreich*, Wien: 2007.
- [11] N. Jungbluth, M. Tuchschnid, und M. de Wild-Scholten, *Life Cycle Assessment of Photovoltaics: Update ofecoinvent data v2.0*, Uster: ESU-Services Ltd., 2008.
- [12] BMLFUW, *Grüner Bericht. Bericht über die Situation der österreichischen Land- und Forstwirtschaft*, Wien: 2008.
- [13] FNR, *Handreichung: Biogasgewinnung und -nutzung*, Gülzow: Fachagentur nachwachsende Rohstoffe (FNR), 2006.
- [14] FNR, *Biokraftstoffe - Basisdaten Deutschland*, Gülzow: Fachagentur nachwachsende Rohstoffe (FNR), 2008.
- [15] H. Mauser und G. Mannsberger, "Holz- und Biomasseaufkommensstudie," Nov. 2007.
- [16] L. Kranzl, R. Haas, G. Kalt, F. Diesenreiter, L. Eltrop, A. König, und P. Makkonen, *Strategien zur optimalen Erschließung der Biomassepotentiale in Österreich bis zum Jahr 2050 mit dem Ziel einer maximalen Reduktion an Treibhausgasemissionen*, Wien:

- BMVIT, 2008.
- [17] AEA, *Holzströme in Österreich 2005*, Austrian Energy Agency (AEA), 2007.
- [18] Statistik Austria, *Energiebilanzen Österreich 1970 - 2007*, Wien: 2008.
- [19] IEA, *Potential for Building Integrated Photovoltaics*, St.Ursen: IEA, 2002.
- [20] R. Haas, P. Biermayr, L. Kranzl, A. Müller, und E. Schriefl, *Wärme und Kälte aus Erneuerbaren 2030*, Wien: 2007.
- [21] Statistik Austria, *Wohnen 2007 - Ergebnisse der Wohnungserhebung im Mikrozensus*, Wien: 2008.
- [22] BMVBS, *Bekanntmachung der Regeln für Energieverbrauchskennwerte und der Vergleichswerte im Nichtwohngebäudestand*, Berlin: Bundesministerium f. Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (BMVBS), 2007.
- [23] Statistik Austria, *Nutzenergieanalyse 2005*, Wien: Statistik Austria, 2007.
- [24] W. Bittermann, *Energiebilanzen 1970 (1988) - 2005: Dokumentation der Methodik*, Wien: 2007.
- [25] M. Herry, N. Sedlacek, und I. Steinacher, *Verkehr in Zahlen*, Wien: BMVIT, 2007.
- [26] NoeLak, *Mobilität in NÖ - Ergebnisse der landesweiten Mobilitätsbefragung 2003*, St.Pölten: NÖ Landesakademie (NoeLak), Amt der niederösterreichischen Landesregierung, 2003.
- [27] MA 18, *Masterplan Verkehr Wien 2003*, Wien: Magistrat der Stradt Wien, Magistratsabteilung 18 (MA 18), 2006.
- [28] Statistik Austria, *Verkehrsstatistik 2007, Güterverkehr - Verkehrsleistungen*, Wien: 2008.
- [29] BMWA, *Energiestatus Österreich 2008*, Wien: Bundesministerium f. Wirtschaft und Arbeit (BMWA), 2008.