



DIPLOMARBEIT

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

Erstellung eines Energiesystemmodells und erste Ergebnisse der Untersuchung der langfristigen Perspektiven österreichischer Energieversorgung

ausgeführt zum Zwecke der Erlangung des akademischen Grades eines Diplom-Ingenieurs

unter der Leitung von

Doz. Dr. Andreas Windsperger

am Institut für

Verfahrenstechnik, Umwelttechnik und technische Biowissenschaften

eingereicht an der Technischen Universität Wien

Fakultät für Maschinenwesen und Betriebswissenschaften

von

Marcus Hummel

9920219

Große Sperlgasse 39A/20

Wien, im August 2009

Abstract

In many countries such as Austria the energy demand is mainly covered by fossil fuels. The negative impact on the climate and their decreasing availability brings up the need for a shift to a possible future energy system using solely renewable energy sources. In this thesis such an energy system is modelled in order to compare and possibly match the energy demand of Austria with the long-term potentials of Austria's renewable energies. Ways how to cover the energy demand should be visualised and analysed in different scenarios. Biomass can either be used as an energy carrier or for bioproducts, such as food, animal feed or furniture. This trade-off is taken into account.

Therefore a static model of all the different energy demands versus all the different energy sources available per year was developed. It contains many parameters to easily change settings on both sides. Bottom-up modelling is used for the parts that are important for the system, due to high energy consumption, efficiency or trade-off potentials. Varying parameters allows to examine the effects of enforcing or reducing various energy supply and energy conversion technologies.

The conclusion is that - against common opinion – the main part of Austria's energy demand can be covered by using renewable energy sources only, even with the still existing technologies. However, significant changes in the structure of buildings and in the transportation sector are necessary. Introducing high construction standards leads to a reduction of heat losses drastically. Room heating should be done preferably by solar collectors, heat pumps and district heat. Wherever possible industrial waste heat should be reused. The main part of biomass should be used in combined heat and power plants to provide process heat. The mobility structure has to change towards electrically driven technologies with much higher conversion efficiencies.

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 und den Energieträgerbedarf einer untersuchten Volkswirtschaft gegenüberstellt und die technischen Möglichkeiten der Bedarfsdeckung aufzeigt. Die 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, das ermöglicht hohe Wirkungsgrade. Im Fernverkehr könnte zusätzlich Biogas und Biodiesel eingesetzt werden.

Inhaltsverzeichnis

Abstract	I
Kurzfassung	III
1 Einleitung	1
1.1 Versorgung mit Energie, stets ein Thema und aktueller denn je	1
1.2 Die Energiebedarfs- und Versorgungssituation Österreichs 2005	8
1.3 Ziel der Arbeit	12
2 Systemische Betrachtung der Energieversorgung	15
2.1 System und Modell.....	15
2.2 Szenarien, Modelle und Potentialstudien.....	17
3 Vorgangsweise und verwendete Methoden	23
3.1 Modellansatz.....	23
3.2 Energiebilanz und Energieflussanalyse	24
3.3 Prozessmodellierung in Abhängigkeit der Aufgabenstellung	26
3.4 Das Modellierungswerkzeug GaBi	28
3.5 Szenariotechnik und Aussage von Szenarien	32
3.6 Verwendete Daten	33
4 Aufbau des Modells	35
4.1 Verwendung von Flüssen, Prozessen und Plänen.....	36
4.1.1 Flüsse für Energie und andere Größen.....	36
4.1.2 Zielgerichteter Einsatz von Prozessen.....	37
4.1.2.1 Prozesse mit Umwandlungsfunktion	37
4.1.2.2 Prozesse ohne Umwandlungsfunktion.....	38
4.1.3 Pläne als Prozesse und Technologie-Mix als spezieller Plan	40

4.5.2.3	Endenergetischer Bedarf Mobilität und Antriebe	130
4.5.3	Prozesswärme	131
4.5.4	Stromanwendungen.....	134
4.5.5	Zusammenfassung der Bedarfsseite	136
4.6	Transport von Energieträgern	137
5	Anwendung des Modells zur Szenarienanalyse – Darstellung	
	langfristiger Perspektiven der österreichischen Energieversorgung	139
5.1	Szenario 1: „Senkung Raumwärmebedarf“	141
5.2	Szenario 2: „Technologieänderung Raumwärme & Warmwasser“	144
5.3	Szenario 3: „Technologie- und Strukturänderung Mobilität“	147
5.4	Ergebnisse und Diskussion der Szenarien	151
6	Zusammenfassung und Schlussfolgerungen	157
	Abkürzungen	163
	Glossar	167
	Umrechnungsfaktoren	169
	Abbildungsverzeichnis	171
	Tabellenverzeichnis.....	175
	Literaturverzeichnis	179
	Danksagung	187

1 Einleitung

1.1 Versorgung mit Energie, stets ein Thema und aktueller denn je

Seit je her ermöglicht der Einsatz von Energieträgern Lebensstandard und Wirtschaftsleistung. In vielen Bereichen des täglichen Lebens ist der Einsatz von Energie zur Bereitstellung von Dienstleistungen nicht mehr wegzudenken. Energie ermöglicht Behaglichkeit im Wohn- und Arbeitsbereich, Transport von Personen und Gütern, Information und Kommunikation und die Konsumation von Gütern und Dienstleistungen (vgl. BMVIT 2007). Bis vor etwa 200 Jahren wurden diese Energiedienstleistungen fast ausschließlich aus erneuerbaren Quellen wie Holz, Wind, Wasser, Sonne oder Muskelkraft bereitgestellt. Seit der industriellen Revolution und der damit einhergehenden, verbreiteten Nutzung fossiler Energieträger ist der Lebensstandard, aber auch der Energiebedarf in vielen Ländern der Erde rasant gestiegen.

Der heutzutage großflächige Einsatz fossiler Energieträger erklärt sich unter anderem durch einige Vorteile gegenüber erneuerbaren Energiequellen: Durch hohe natürliche Energiedichten ist deren Transport auch über größere Strecken rentabel. Im Gegensatz zu Wind, Wasser oder Sonnenenergie können fossile Energieträger dann in Energiedienstleistungen umgewandelt werden, wenn auch Nachfrage vorhanden ist. Und, durch den Einsatz fossiler Energieträger, die in den meisten Fällen unter der Erde lagern, konnte eine Limitierung des Energieeinsatzes durch die jeweils vorhandenen Flächen zur Bereitstellung von Biomasse, damals v. a. Holz, aufgehoben werden (vgl. Sieferle 2006).

Zur Nutzung des Energieinhalts von Kohle, Erdöl oder Erdgas müssen diese verbrannt werden. Wie bei der Verbrennung aller kohlenstoffhaltigen Verbindungen entsteht auch in der energetischen Nutzung fossiler Energieträger Kohlendioxid. Wenn Biomasse in gleicher Menge wieder nachwächst, wie sie verbrannt wird, dann wird auch die gleiche Menge CO₂ gebunden wie bei der Verbrennung emittiert wurde. CO₂ aus fossilen Quellen wird hingegen nur langsam wieder über natürliche Wege unter der Erde gebunden. Etwa die Hälfte des anthropogen emittierten CO₂ verbleibt dabei maximal 30 Jahre in der Atmosphäre, weitere 30 % werden über mehrere hundert Jahre entfernt, der restliche Anteil verbleibt über viele

Jahrtausende (vgl. Foster, et al. 2007). Messungen haben gezeigt, dass die CO₂ Konzentration in der Atmosphäre von einem vorindustriellen Niveau von 280 ppm¹ auf 379 ppm im Jahr 2005 gestiegen ist, ein Plus von 35 %. Fast 20 von 35 % Zuwachs erfolgten in der Periode von 1960 bis 2005 (Bernstein, et al. 2007).

Langjährige Temperaturmessungen zeigten Ende des letzten Jahrhunderts eine überdurchschnittlich schnelle Erhöhung der globalen Durchschnittstemperatur seit etwa Anfang jenes Jahrhunderts. Daraufhin gründeten 1988 die World Meteorological Organization (WMO) und das United Nations Environment Programme (UNEP) den Weltklimarat (IPCC²). Dieser besteht aus Regierungsvertretern und Wissenschaftlern und hat die Aufgabe objektive Informationen zu Ursachen und Auswirkungen von Klimaänderungen sowie zu Anpassungs- und Minderungsoptionen zusammenzutragen (IPCC 2009). Es hat sich gezeigt, dass Kohlendioxid in der Atmosphäre einen Teil der ausgehenden Strahlung absorbiert und daher auf den Planeten temperaturerhöhend wirkt. Dies gilt ebenfalls in jeweils unterschiedlichem Maß für Methan, Lachgas (N₂O), florierte Kohlenwasserstoffe, andere Fluorverbindungen und einige Gase mehr. In Kombination mit der jeweiligen Verweildauer ergibt sich ein vom Betrachtungszeitpunkt ab Emission abhängiges Treibhauspotential der verschiedenen Gase. Verglichen wird dabei immer mit der Wirkung von CO₂, als Einheit ergibt sich CO₂-eq. Für 100 Jahre ab Emissionszeitpunkt hat der Weltklimarat im Jahr 2007 als aktuellsten Stand folgende Werte publiziert: 25 CO₂-eq für Methan, 298 CO₂-eq für Lachgas, fluoridierte Gase größtenteils darüber und als klimarelevantestes Gas Schwefelhexafluorid (SF₆) mit 22.800 CO₂-eq. (Foster, et al. 2007)

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 (IEA 2008). Weltweit wurden 2004 knapp 57 % (gemessen in CO₂-eq) der anthropogenen Treibhausgasemissionen durch den Einsatz fossiler Energieträger verursacht (Bernstein, et al. 2007). Bedenkt man die im Verhältnis zu anderen Treibhausgasen geringe Wirkung von Kohlendioxid, so ist CO₂ aus der Nutzung

¹ ppm ... parts per million

² IPCC ... Intergovernmental Panel on Climate Change

fossiler Energiequellen mengenmäßig mit Abstand der größte Beitrag zum anthropogenen Treibhauseffekt.

Schon 1992 wurde auf der Konferenz der Vereinten Nationen zu Umwelt und Entwicklung in Rio de Janeiro neben anderem die Klimarahmenkonvention (UNFCCC³) vereinbart. Darin wird als völkerrechtliches Ziel manifestiert, den durch Treibhausgasemissionen verursachten anthropogenen Klimawandel in erträglichen Grenzen zu halten, auch wenn dieser noch nicht hundertprozentig wissenschaftlich nachgewiesen ist (UN 1992). 1994 trat die Konvention in Kraft und seit 1995 treffen sich die Vertragsstaaten jährlich zu einer Konferenz (COP⁴), bei der die Umsetzung der Konvention gefördert und überprüft werden soll. Auf der dritten Zusammenkunft 1997 in Kyoto wurde ein Zusatzprotokoll zur Klimarahmenkonvention verabschiedet, in dem sich die Industriestaaten zu einer Reduktion ihrer gemeinsam verursachten Treibhausgasemissionen um 5 % bis zum Jahr 2010 verpflichteten (UNFCCC 2009). Als Basisjahr wurde für die meisten Staaten das Jahr 1990 gewählt und weiters wurde festgelegt, dass sich die Reduktionsziele auf den Mittelwert der Emissionen aus den Jahren 2008 bis 2012 beziehen. Das gemeinsame Ziel wurde in verschiedenem Maß auf die teilnehmenden Länder aufgeteilt. Die Europäische Union verpflichtete sich zu einer Einsparung von 8 %, Kanada und Japan zu jeweils 6 % und Russland dazu, dass es seine Emissionen konstant hält. Zur Zielerreichung können nationale Emissionen vermindert werden, aber auch über flexible Mechanismen durch Projekte in anderen Ländern dort Emissionen vermieden oder das Recht auf Emission von anderen Industrieländern gekauft werden (UN 1998). In Kraft getreten ist das Kyoto-Protokoll im Jahr 2005, nachdem genügend Industrieländer dieses ratifiziert hatten (UNFCCC 2009).

In Österreich wurden 2005 rund 1.440 PJ (= 1,4 EJ) Energieträger zur Inlandsverwendung benötigt (Mayer 2006). Im gleichen Jahr wurden 79,7 Mio. t CO₂, vorwiegend aus fossilen Quellen, und gesamt 93,3 Mio. t CO₂-eq an Treibhausgasen emittiert. Im Kyoto-Basisjahr 1990 hatte Österreich 79,1 Mio. t CO₂-eq emittiert. Die Emissionen lagen 2005 also um 18 % über dem Basisjahr. Zu dem EU-weiten Reduktionsziel von 8 % hat sich Österreich bereit erklärt mit 13 % nationaler Reduktion beizutragen. Österreich hat im Jahr 2005 um

³ UNFCCC ... United Nations Framework Convention on Climate Change

⁴ COP ... Conference of the Parties

35,6 % mehr Treibhauspotential emittiert, als zur Zielerreichung des Kyoto-Protokolls erlaubt sein werden (UBA 2007). Österreich zählt damit zu denjenigen EU-15 Ländern⁵, die am weitesten von ihren Einsparungszielen entfernt sind, nur Spanien und Luxemburg sind noch weiter entfernt als Österreich. Unter Berücksichtigung auch der Kohlenstoffsinken und der flexiblen Mechanismen des Kyoto-Protokolls zusätzlich zu den nationalen Emissionen ist Österreich EU-15 weites Schlusslicht bei der Erreichung der Reduktionsziele. Von den EU-15 Staaten konnten bis 2006 nur Schweden, Frankreich, Großbritannien und Griechenland ihre Emissionen gegenüber dem Jahr 1990 soweit senken, dass sie ihre Kyoto-Ziele ohne flexible Mechanismen erreichen würden. EU-15 weit wurden im Jahr 2006 im Vergleich zu 1990 um 2,7 % weniger Treibhausgase emittiert. Damit liegt die EU bei den tatsächlichen Emissionen 5,3 % über dem Kyoto-Ziel. Unter Berücksichtigung von Kohlenstoffsinken und flexiblen Mechanismen könnte diese Differenz auf 1 % gesenkt werden (EEA 2008). Im Vergleich mit anderen großen Volkswirtschaften ist die EU ihrem Kyoto-Reduktionsziel relativ nahe gekommen. Russland würde sein Reduktionsziel als einzige Großmacht mit über 34 % deutlich unterschreiten. Alle anderen Wirtschaftsmächte sind auf dem Weg ihr Ziel deutlich zu verfehlen. Japan emittierte 2006 um rund 11 % mehr Treibhausgase als für 2010 angestrebt, Australien etwa 21 % und Kanada knapp 28 % mehr. Die USA, die im Rahmen der Sitzung in Kyoto ein Reduktionsziel von 7 % äußerten, das Protokoll aber bis heute nicht ratifiziert haben, würden dieses Ziel um gut 21 % verfehlen. (UNFCCC 2009)

Zur Veranschaulichung möglicher Folgen menschlich verursachter klimarelevanter Emissionen wird die Reaktion des Klimas auf den Verlauf der Treibhausgasemissionen untersucht. Computerunterstützt wird mit Klimamodellen versucht, Erkenntnisse über die komplexen Zusammenhänge des Klimas und über die Auswirkungen menschlicher Aktivität zu erlangen. Der ungewisse zukünftige Verlauf der Treibhausgasemissionen, allen voran Kohlendioxid, wird mittels Szenarien umrissen. Variierte Annahmen zu demographischen, ökonomischen, technischen und sozialen Entwicklungen bilden die Basis der Szenarien. Der Weltklimarat veröffentlichte in seinem dritten Sachstandsbericht 2001 die sogenannten „Special Report on Emission Scenarios“ (SRES). Dabei wurden mögliche anthropogene Entwicklungen bis zum

⁵ zu den EU-15 Ländern zählen Belgien, Deutschland, Frankreich, Italien, Luxemburg, Niederlande, Dänemark, Irland, Vereinigtes Königreich, Griechenland, Portugal, Spanien, Finnland, Österreich und Schweden.

Jahr 2100 in vier Gruppen zu je zehn Szenarien zusammengefasst. Bei keinem der Szenarien wurden zusätzliche Klimainitiativen unterstellt. Als Ergebnis zeigten diejenigen Szenarien die günstigsten Auswirkungen auf das Klima, in denen als Schwerpunkte klimafreundliche Technologien, erneuerbare Energien und die nachhaltige Nutzung von Ressourcen und Energie gewählt wurden. In allen Szenarien jedoch wird ein Anstieg der mittleren Temperaturen und des Meeresspiegels errechnet (Welfens 2008). Sechs Jahre später, im vierten Sachstandsbericht veröffentlichte das IPCC die darauf aufbauenden post-SRES Stabilisierungsszenarien. Untersucht wurden auf Basis der SRES Szenarien die Auswirkungen von politischen Maßnahmen auf Klimaveränderungen und dadurch verursachte Kosten. Eine Stabilisierung der Treibhausgaskonzentration in der Atmosphäre wird in allen 177 Szenarien angesteuert. Zur Vermeidung von Treibhausgasemissionen zeigte sich die Umsetzung nachhaltiger Entwicklungen als besonders günstig (Barker, et al. 2007). Nach Jahren der Erforschung des Erdklimas und der darauf wirkenden Einflüsse ist sich die Wissenschaft mittlerweile nahezu einig. Eine Anfang 2009 veröffentlichte Umfrage unter Geowissenschaftlern zeigt breite Einigkeit zum anthropogenen Klimawandel: von den aktiv publizierenden Klimaforschern, die an der Umfrage teilgenommen hatten, antworteten 97 % mit ja auf die Frage, ob menschliche Aktivität signifikant zur Erhöhung der mittleren Erdtemperatur beiträgt (Doran & Zimmermann 2009).

Von großer politischer Bedeutung sind neben den Klimaszenarien des IPCC auch die jährlichen Prognosen zum zukünftigen weltweiten Energiebedarf der International Energy Agency (IEA). Das „Baseline“ – Szenario aus dem Jahr 2008, in dem keine politischen Richtungsänderungen unterstellt werden, erwartet bis 2030 einen stetig steigenden Energiebedarf und einen kaum höheren Anteil erneuerbarer Energien. Entsprechende Steigerungen der Treibhausgasemissionen wären die Folge (IEA 2008). Die für Österreich wichtigen Energieszenarien des nationalen Wirtschaftsforschungsinstituts (WIFO) zeigten im „Baseline“ – Szenario aus dem Jahr 2005 ein ähnliches Bild. Bis zum Ende der Betrachtung im Jahr 2020 steigt der Energiebedarf stetig und erneuerbare Energien gewinnen kaum an Bedeutung (Kratena & Wüger 2005).⁶ Zur Vorhersage möglicher zukünftiger Energiebedarfssituationen spielt die existente und prognostizierte Rohstoffverfügbarkeit eine

⁶ Eine tiefer gehende Betrachtung der Szenarien von IEA und WIFO erfolgt in Kapitel 2.2.

entscheidende Rolle. Sowohl fossile, als auch nukleare Rohstoffe werden aus schwindenden Quellen bezogen. Zu bemerken ist in diesem Zusammenhang, dass die Verfügbarkeit von Energieträgern nicht nur von physikalischen Vorkommen abhängt, sondern ebenfalls von technologischen und ökonomischen Faktoren in der Suche, der Bringung und der Anwendung der Rohstoffe. Unter Reserven werden jene Energiemengen verstanden, die mit derzeit vorhandenen Technologien unter derzeitigen ökonomischen Bedingungen rentabel verfügbar gemacht werden können. Schon 1996 wurden die fossilen Reserven bei einem im Verhältnis zu heute niedrigen Energieträgerpreis mit etwa 50.000 EJ angegeben, die möglichen Ressourcen mit über 180.000 EJ. Gesamt wurden bis zu diesem Zeitpunkt weltweit etwa 10.000 EJ fossile Energieträger genutzt (IPCC 1996). Es kann also etwa fünfmal so viel Energie aus fossilen Quellen gesichert in Nutzung gebracht werden, als weltweit bis heute bereits genutzt wurde. Die 50.000 EJ fossile Reserven, die den derzeitigen Bedarf etwa 100 Jahre lang decken würden, verkörpern circa 1.000 Gt Kohlenstoff (vgl. IPCC 1996, Grubb 2001). Der derzeitige Kohlenstoffgehalt der Atmosphäre, vorwiegend in Form von Kohlendioxid, beträgt etwa 730 Gt (Zimov, et al. 2006), was einer CO₂-Konzentration von rund 380 ppm entspricht. Unter den herrschenden technologischen und ökonomischen Bedingungen könnte also noch mehr Kohlenstoff in die Atmosphäre gebracht werden, als in dieser derzeit schon vorhanden ist, mit den entsprechenden Auswirkungen auf das Klima.

Die Abhängigkeit heutiger Industrienationen von fossilen Rohstoffen, in erster Linie zur Energiebereitstellung, äußert sich verschärft durch die ungleiche Verteilung der Rohstoffe auf der Erde. Auf internationale politische Meinungsverschiedenheiten folgende Preissteigerungen und Versorgungsengpässe treten verstärkt seit dem Erdölembargo 1973 auf. Dies zeigten auch die jüngsten Engpässe in Bezug auf die Versorgung der Länder der Europäischen Union mit Gas, ausgelöst durch die politischen Schwierigkeiten zwischen Russland und der Ukraine. Im Kontext der Kernenergie hingegen stehen international vor allem sicherheitspolitische Risiken an der Schnittstelle zwischen friedlicher und nicht friedlicher Nutzung im Mittelpunkt. Doch auch Sicherheitsrisiken und Umweltauswirkungen in Gewinnung, Anwendung und Endlagerung auch bei friedlicher Nutzung, gehören zu den diskutierten Themen rund um die Nuklearenergie, vor allem aus der langfristigen Perspektive.

Es zeigt sich, dass die Sicherung der Bereitstellung von Energiedienstleistungen mit Rücksicht auf Mensch und Umwelt eine globale Herausforderung darstellt. Speziell das Problem

der Klimaerwärmung und der mittel- bis langfristig abgeschätzten Folgen vereint dabei die Nationen. Im Dezember 2009 in Kopenhagen soll am jährlichen Treffen der Vertragsstaaten zur Klimarahmenkonvention (COP) ein Nachfolgeprotokoll für das auslaufende Kyoto-Protokoll formuliert werden. Es sollen verbindliche Reduktionsziele für Industrieländer und wirtschaftlich aufstrebende Nationen wie China, Indien und Brasilien bis zum Jahr 2020 vereinbart werden. Auch die USA haben sich auf nationaler Ebene mittlerweile zu einem Vorschlag für ein Klimaschutzgesetz durchgerungen. Ende Juni einigte man sich im US Repräsentantenhaus darauf im Jahr 2020 um 17 % weniger Treibhausgase emittieren zu wollen als noch 2005. Bis 2050 will man diese um 83 % reduziert haben. Der Gesetzesentwurf muss derzeit noch vom Senat verabschiedet werden. (Broder 2009)

Die europäische Union hat im Dezember 2008 ein Klima- und Energiepaket verabschiedet, durch das die Versorgungssicherheit, die Umweltverträglichkeit und die Wettbewerbsfähigkeit in der EU gesteigert und die Treibhausgasemissionen entscheidend gesenkt werden sollen. Bis in das Jahr 2020 sollen die europäischen Treibhausgasemissionen mindestens um 20 % gegenüber dem Jahr 1990 reduziert werden. Verpflichten sich andere Industrieländer zu vergleichbaren Senkungen will man bis zu 30 % einsparen. Daneben ist es Ziel bis in das Jahr 2020 einen Anteil von mindestens 20 % erneuerbare Energiequellen an der Gesamtenergieproduktion der Union zu erreichen, bei gleichzeitiger Senkung des Energieverbrauchs um 20 % des voraussichtlichen Niveaus von 2020 durch Verbesserung der Energieeffizienz. Das soll erreicht werden, indem die energieintensiven Wirtschaftszweige in ein EU-weites Emissionshandelssystem mit limitierten Zertifikaten eingebunden werden und die davon nicht betroffenen Wirtschaftszweige ihre Emissionen bis 2020 um 10 % gegenüber 2005 reduzieren. Verbindliche nationale Zielvorgaben für die Anteile erneuerbarer Energieträger an den gesamt energetisch eingesetzten Energieträgermengen soll die Anteile erneuerbarer Energien in der Union erhöhen. Österreich hat sich im Zuge des Energie- und Klimapakets verpflichtet, den Anteil erneuerbarer Energien von 23,3 % im Jahr 2005 bis 2020 auf 34 % zu erhöhen. Die Emissionen aus den Wirtschaftszweigen, die nicht am Emissionshandel beteiligt sind, müssen bis 2020 um 16 % gegenüber 2005 reduziert werden (European Parliament 2008). Um diese Ziele zu erreichen wird derzeit auf nationaler Ebene an der Energiestrategie Österreich gearbeitet. Diese soll konkrete Umsetzungsmaßnahmen beinhalten. Bis Ende des Jahres 2009 soll ein Strategieplan unter Einbindung von Stakeholdern und Experten erarbeitet und in weiterer Folge beschlossen werden (BMWFJ, BMLFUW 2009).

Diese Arbeit zeigt technische Möglichkeiten der vollständig erneuerbaren und klimaneutralen Versorgung einer Volkswirtschaft mit in dieser vorhandenen Energieträgern auf, wobei auch die nicht energetische Nutzung potentieller Energieträger berücksichtigt wird. Es soll dadurch eine Charakterisierung sinnvoller Entwicklungsrichtungen geschaffen werden, auf dem Weg zu einem nachhaltigen und langfristig stabilen Energieversorgungssystem.

1.2 Die Energiebedarfs- und Versorgungssituation Österreichs 2005

Die österreichische Energieversorgung ist ähnlich wie in vielen industrialisierten Ländern stark geprägt durch die Nutzung fossiler Energieträger. Durch die Topographie begünstigt, ist der Wasserkraftanteil an der Stromproduktion mit über 60 % aber höher als in vielen anderen Ländern. Im Jahr 2005 wurden in Österreich 1.653 PJ an Primärenergie für energetische und nicht energetische Zwecke genutzt. Da vergleichsweise geringe inländische Vorkommen fossiler Rohstoffe existieren, wird ein Großteil der benötigten Energieträger aus dem Ausland importiert. Knapp 75 % des gesamten jährlichen Energieaufkommens mussten 2005 importiert werden, der Rest stammt aus inländischer Produktion. Abbildung 1 zeigt das österreichische Energieflussbild, das von der österreichischen Energieagentur mit Daten der Statistik Austria erstellt wurde.

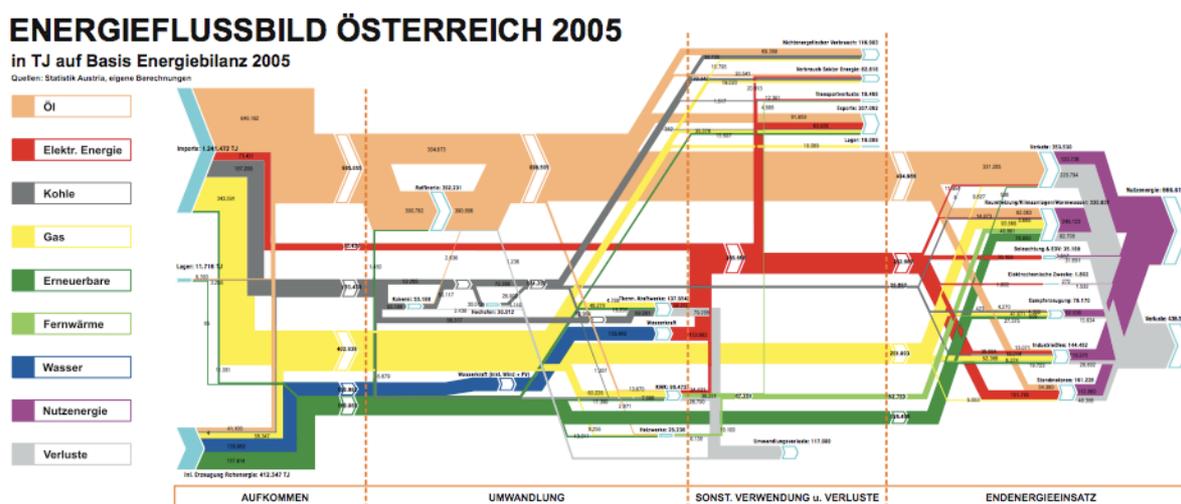


Abbildung 1: Energieflussbild Österreich 2005 (Quelle: Österreichische Energieagentur)

In der Abbildung ist der Energiefluss durch die österreichische Volkswirtschaft als Jahressumme visualisiert. Auf der linken Seite wird das Energieaufkommen dargestellt, wobei Import (oben) und inländische Produktion (unten) separat ausgewiesen werden. Über verschiedene großtechnische Umwandlungen werden Energieträger erzeugt, die am Ort ihrer Anwendung als Endenergie bezeichnet werden. Vom gesamten Aufkommen von 1.653 PJ gelangen 1.105 PJ an den Ort der energetischen Verwendung und werden dort eingesetzt. Der Rest verteilt sich auf Export, Umwandlungsverluste, Nichtenergetischer Verbrauch, Verbrauch Sektor Energie, Transportverluste und Lager.

Die Entwicklung des Endenergieeinsatzes über die letzten 35 Jahre zeigt Abbildung 2. In der Abbildung werden die Anteile der verschiedenen Bedarfssektoren (nicht zu verwechseln mit Nutzenergiekategorien) separat ausgewiesen.

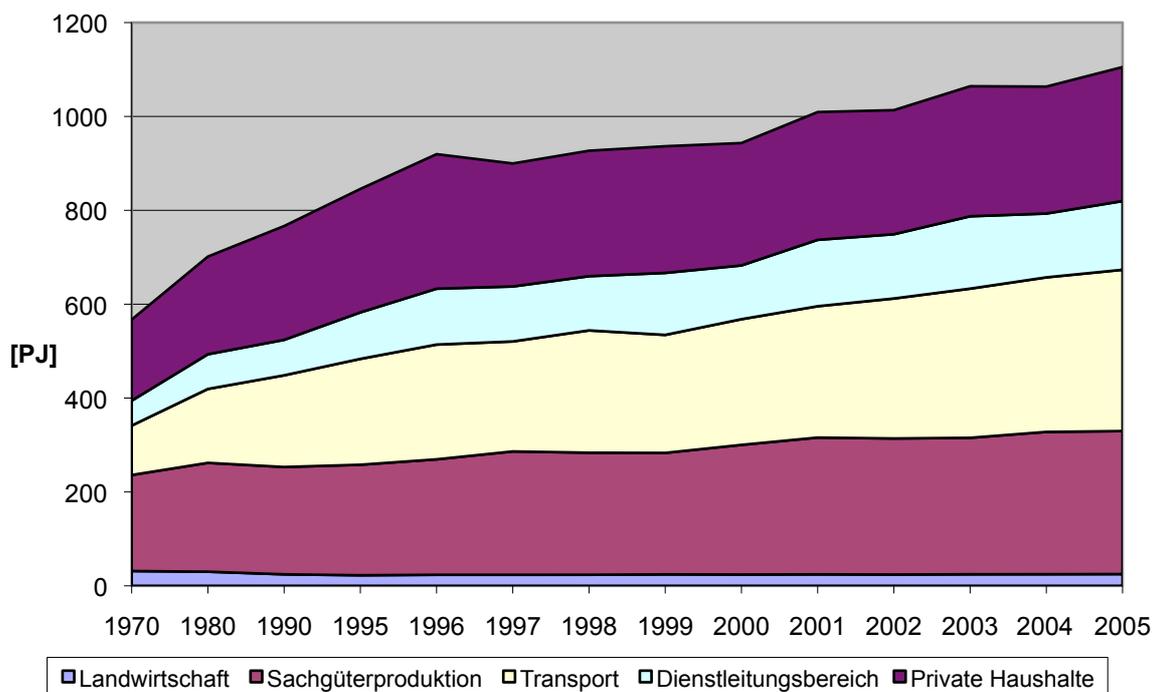


Abbildung 2: Entwicklung des Endenergieverbrauchs nach Sektoren (Quelle: Statistik Austria)

Es ist erkennbar, dass sich der Energieeinsatz in den letzten 35 Jahren etwa verdoppelt hat. Die Steigerungen im Transportsektor und in den privaten Haushalten tragen den größten Anteil bei.

Betrachtet man den energetischen Endeinsatz nach den verwendeten Energieträgern, so dominieren hier fossile Energieträger mit 65 %. Daneben zählt Strom ebenfalls zu einem der bedeutendsten Energieträger mit 18 % Anteil. Erneuerbare Energieträger (ohne Strom, also ohne Wasserkraft, Photovoltaik und Windkraft) haben einen Anteil von 12 % (siehe Abbildung 3).

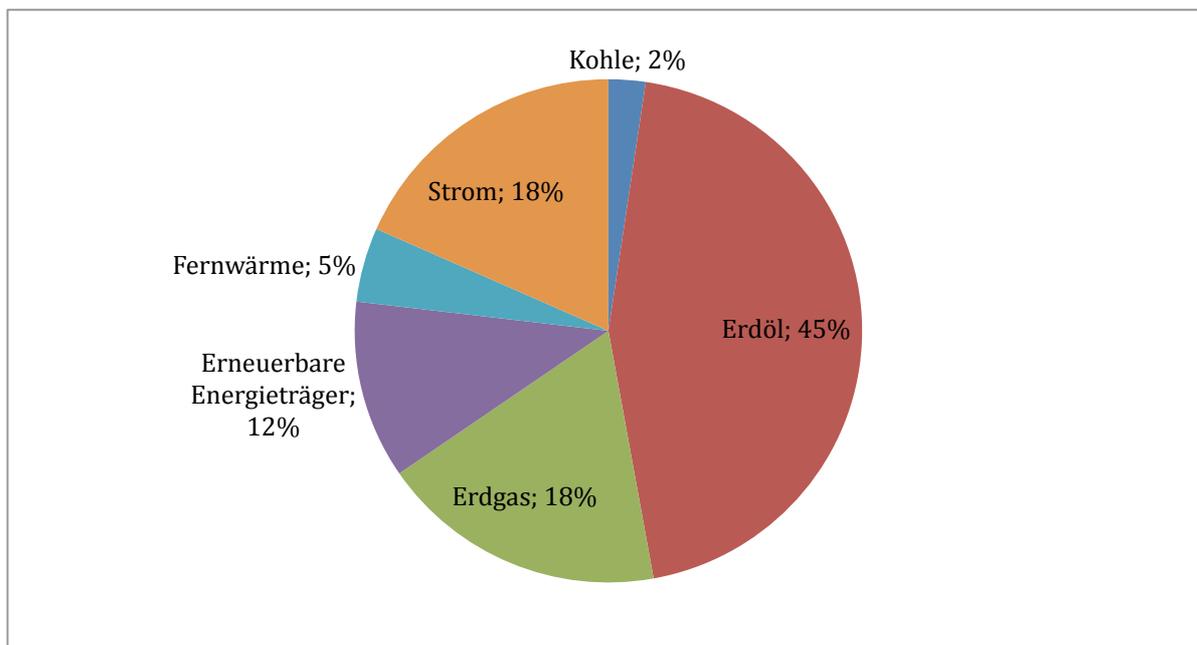


Abbildung 3: Energetischer Endverbrauch Österreichs 2005 nach Energieträger (Quelle: Statistik Austria)

Die Endenergieträger werden am Ort der Anwendung in Nutzenergie umgewandelt. Im Jahr 2005 konnten 1105 PJ Energieträger in 666 PJ Nutzenergie umgewandelt werden. Die anderen 40 % gingen bei der Umwandlung verloren.

Eine Aufteilung des energetischen Endverbrauchs auf die sogenannten Nutzenergiekategorien ist Abbildung 4 auf der folgenden Seite dargestellt. Es werden dabei die Energieträgermengen nach dem gewünschten Nutzen aufgeteilt und mit Wirkungsgraden in Nutzenergie umgerechnet. Die Aufteilung bzw. die jeweiligen Wirkungsgrade stammen aus der Nutzenergieanalyse der Statistik Austria.

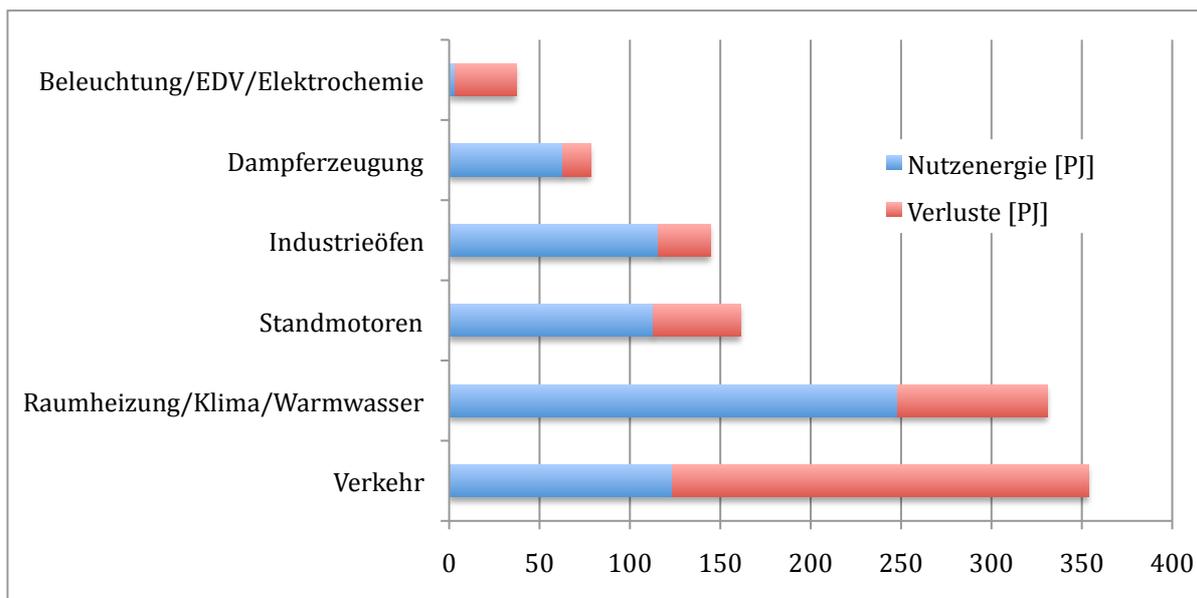


Abbildung 4: End- und Nutzenergie in Österreich 2005 (Quelle: Statistik Austria)

Der größte Anteil der in Österreich energetisch verwendeten Energieträger wird im Bereich Verkehr eingesetzt. Gleichzeitig sind aber auch die enormen Verluste in diesem Bereich auffallend. Für die Beheizung bzw. Kühlung von Gebäuden bzw. zur Warmwasserbereitstellung werden ähnliche Energieträgermengen eingesetzt. Hier bleiben jedoch die *ausgewiesenen* Verluste deutlich hinter denen im Verkehrsbereich. Standmotoren besitzen relativ gute Wirkungsgrade und sind hinter Verkehr und Raumheizung der drittgrößte Einsatzbereich von Energieträgern im Land. Industrieöfen und Dampferzeugung machen zusammen etwa so viel aus wie Raumheizung bzw. Verkehr. Reine Stromanwendungen (Beleuchtung/EDV/Elektrochemie) besitzen derzeit einen geringen Anteil am Verbrauch, weisen aber die schlechtesten Wirkungsgrade aller Kategorien auf.

Im Verkehrsbereich zeigt sich das große Einsparpotential bei 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 können aber Wirkungsgrade von über 80 % erreicht werden, ein verstärkter Einsatz hätte hier große Auswirkungen auf den Endenergiebedarf.

Im Bereich Raumwärme, Klimaanlage und Warmwasser sind dagegen in der Bilanz keine derartig hohen Verluste ausgewiesen. Betrachtet man aber die derzeitige Gebäudestruktur in

Österreich, so erkennt man auch hier ein großes Einsparpotential. Rein die Wohngebäude besitzen einen durchschnittlichen Heizwärmebedarf von etwa 140 kWh/m²a. Durch Verbesserung der thermischen Eigenschaften der Gebäudehülle können aber bereits Werte von 50 kWh/m²a erreicht werden, bei Passivhäusern sogar noch deutlich weniger. Es würde in diesem Bereich also die Nutzenergie verringert werden, was insgesamt zu einem deutlich verringerten Endenergiebedarf führen würde.

1.3 Ziel der Arbeit

In dieser Arbeit sollte ein Bild eines österreichischen Energiesystems gezeichnet werden, das rein auf die Nutzung erneuerbarer Energiequellen beruht. Es sollten 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 sollten sichtbar werden.

Zur Untersuchung der komplexen Strukturen eines derartigen Energiesystems sollte ein Modell erstellt werden, mit dem es möglich ist, Szenarien einer vollständigen Energiebedarfsdeckung aus erneuerbaren Quellen aufzuzeigen und zu visualisieren. Dafür sollte der jährliche Energiefluss durch die Volkswirtschaft untersucht werden. Um eine Szenarienbetrachtung zu ermöglichen sollten verschiedene Energiebereitstellungsketten parallel modelliert und über Parameter deren Einsatz variabel gestaltet werden. Es sollte ein statisches, also zeitunabhängiges Prozessmodell entstehen, in dem der Einsatz von Technologien forciert bzw. reduziert werden kann. Auch sollten Strukturen in Bedarf und Bereitstellung variabel gestaltet werden, um auch hier Veränderungen simulieren und visualisieren zu können.

Eine Verknüpfung von Energiebedarf und Potentialen erneuerbarer Energieträger sollte die Möglichkeiten einer Deckung aufzeigen und untersuchbar machen.

Im Bereich der Potentiale sollten Nutzungskonkurrenzen in der Land- und Forstwirtschaft, die sich durch die Nahrungsmittelversorgung und die Nachfrage an nachwachsenden Rohstoffen zur stofflichen Weiterverarbeitung ergeben, berücksichtigt werden. Daher sollten diese Bereiche auf der Potentialseite detailliert modelliert werden. Die derzeit benötigten

Energieträgermengen sollten in Bereichen mit großen Effizienzpotentialen aufgrund der Komplexität und Bedeutung dieser Nutzungsbereiche ebenfalls detailliert modelliert werden. Dabei handelt es sich wie schon gezeigt um die Bereiche Verkehr und Raumwärme bzw. Warmwasser, die in ihren disaggregierten Bedarfsstrukturen aufgenommen wurden. Dadurch sollte es möglich werden, den Einsatz verschiedener Technologien, aber auch Veränderungen in den Strukturen selbst und die einhergehenden Auswirkungen auf das Gesamtsystem zu untersuchen.

Die dadurch entstehende Abbildung technischer Zusammenhänge in der Energieumwandlungskette sollte eine Untersuchung der gegenseitigen Abhängigkeiten und des Zusammenspiels der unterschiedlichen Technologien erleichtern. Die Abhängigkeit der Deckungsmöglichkeiten des Energieträgerbedarfs von eingesetzten Bereitstellungs-, Umwandlungs- und Anwendungstechnologien sowie von Nachfrage- und Bereitstellungsstruktur sollten visualisiert und analysiert werden. Auch der Einfluss von Technologieentwicklungen sollte sichtbar gemacht werden können. Weiters sollte durch das entstandene Modell aufgezeigt werden, welche die Schlüsseltechnologien der Zukunft für Österreich, aber auch international sein könnten, abhängig von den jeweils im Betrachtungsraum vorherrschenden Energiequellen und der Bedarfsstruktur.

Die Grundeinstellungen des Modells können in folgender Weise definiert werden: Es werden langfristige, nachhaltige Energieträgerpotentiale auf der einen Seite dem derzeitigen Energiebedarf gegenübergestellt. In einem ersten Schritt sollten dadurch Defizite bzw. Überangebote an Energieträgern aufgezeigt werden.

In einer darauf folgenden Szenarienbetrachtung sollten in den Bereichen Raumwärme und Verkehr Veränderungen simuliert und deren Auswirkung auf das Gesamtsystem untersucht werden. In der Raumwärmebereitstellung sollten die Effekte einer Senkung des Heizwärmebedarfs im Gebäudebereich simuliert werden. Durch verstärkten Einsatz effizienter Technologien sollte eine Bedarfsdeckung erreicht werden. Im Bereich Verkehr sollte untersucht werden, welche Auswirkungen eine verstärkte Nutzung elektrisch betriebener Fahrzeuge auf den Energiebedarf hätte und ob die in diesem Fall benötigten Energieträgermengen vorhanden wären.

In einem ersten Ansatz des Modells für diese Arbeit sollte keine detaillierte Untersuchung des industriellen Sektors und der dort möglichen Einsparungen vorgenommen werden. Be-

reiche, in denen aus derzeitiger Sicht die Substitution fossiler Energieträger technologisch nicht möglich ist, sollten in der Modellierung nicht berücksichtigt werden. Es handelt sich dabei um Gießereien, Hochöfen und die Raffinerie.

Es sollte durch diese Arbeit eine Visualisierung der grundlegenden Änderungen in den Nachfragestrukturen ermöglicht werden, die zur Erreichung einer Deckung des Energiebedarfs aus erneuerbaren Quellen notwendig wären. Bereiche ineffizienter Nutzung sollten eindeutig identifiziert und die Auswirkungen realistisch scheinender Veränderungen abgebildet werden. Die Kosten und der Zeitrahmen, die zur Umsetzung der untersuchten Veränderungen notwendig wären sollten dabei in der Untersuchung nicht betrachtet werden, sollen aber mit anderen Aspekten wie etwa gesellschaftlicher Akzeptanz anhand der Ergebnisse diskutiert werden. Es sollten Ansätze für eine zukunftsfähige und stabile Energieversorgung Österreichs erarbeitet und sinnvolle Entwicklungsrichtungen vor den zur Verfügung stehenden erneuerbaren Potentialen aufgezeigt werden.

2 Systemische Betrachtung der Energieversorgung

Die rasanten Entwicklungen auf dem Gebiet der Informatik seit Mitte des letzten Jahrhunderts haben dazu beigetragen, dass Modellen eine immer bedeutendere Rolle bei der Untersuchung komplexer Systeme zukommt. Modelle sind heutzutage Gegenstand öffentlicher Diskussionen um unsere Zukunft, seien es Klima-, Beschäftigungs-, Arbeitszeit- oder Ernährungsmodelle (Dirks & Knobloch 2008). Um Erkenntnisse über mögliche zukünftige Energiesysteme zu erlangen und zur Bearbeitung energiepolitischer Fragestellungen werden seit dem Erdölembargo 1973/74 verstärkt Modelle eingesetzt. Auch zur genaueren Untersuchung der Potentiale erneuerbarer Energieträger werden in jüngerer Zeit verstärkt Modelle herangezogen. In diesem Kapitel wird zunächst auf das Wesen von Systemen und Modellen eingegangen. Im Anschluss werden bestehende Modelle und Szenarien behandelt, die sich mit zukünftigen nationalen und internationalen Energiesystemen beschäftigen. Auch wird ein Überblick über nationale Potentialstudien gegeben, die nicht auf eine Technologie oder einen Bereich beschränkt sind.

2.1 System und Modell

Nach Heinrich (Heinrich 2007) besteht ein System aus einer Menge von Elementen, die durch Beziehungen miteinander verbunden sind. Die Systemgrenze charakterisiert dabei die Abtrennung des Systems zu seiner Umwelt. Der Einfluss der Umwelt auf das System wird als Input bezeichnet und der Einfluss des Systems auf die Umwelt als Output.

Unter Energiesystem wird heute im Allgemeinen die Menge aller Elemente verstanden, die zur Bereitstellung der vom Menschen nachgefragten Energiedienstleistungen benötigt werden. Das Energiesystem steht dabei über eine Vielzahl an Beziehungen mit seiner Umwelt in Verbindung. Ökonomische, technische und gesellschaftliche Faktoren bestimmen den Aufbau des Energiesystems entscheidend und können gleichsam als Inputs in das System betrachtet werden. Als Outputs könnte man u. a. Auswirkungen auf Gesellschaft, Ökologie, Politik und Wirtschaftsleben interpretieren.

Um derartige Zusammenhänge besser verstehen zu können und um unterschiedlichste Fragestellungen in Zusammenhang mit der Energiebereitstellung zu untersuchen, werden heute vielerorts Modelle eingesetzt.

Heinrich (Heinrich 2007) definiert ein Modell als zweckorientierte Abstraktion, um ein System darzustellen bzw. zu verstehen. Die Abstraktion erfolgt dabei mit dem Ziel, „die für einen bestimmten Zweck wichtigen Dinge hervorzuheben und die unwichtigen Dinge zu ignorieren“ (Heinrich 2007, 9). Ein Modell kann zum einen ein vorhandenes Original abbilden oder das Vorbild eines herzustellenden Originals sein (Kastens & Kleine Büning 2005, 16). Modell und Original stehen dabei in enger Beziehung. Das Original dient als Vorbild bei der Modell-erstellung. Das Modell entsteht durch Abstraktion, Idealisierung und Aggregation identifizierter bzw. ausgewählter Zusammenhänge.

In der Anwendung von Modellen werden in diesen Änderungen durchgeführt. Durch Interpretation der Ergebnisse wird auf das geänderte Original zurückgeschlossen. Es können dadurch Erkenntnisse über das Original gewonnen und gleichzeitig Eingriffe zur Änderung des Originals untersucht werden (vgl. Abbildung 5).

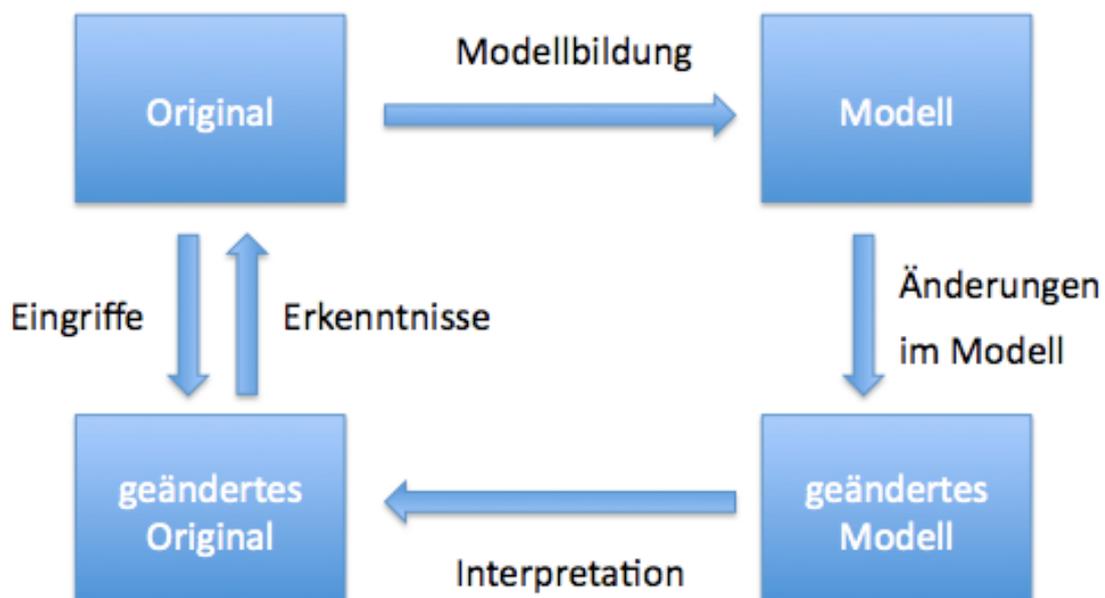


Abbildung 5: Zusammenhang zwischen Modell und Original (eigene Darstellung in Anlehnung an (Kastens & Kleine Büning 2005))

2.2 Szenarien, Modelle und Potentialstudien

Die Versorgung der Gesellschaft mit Energie, um bestimmte Aktivitäten zu ermöglichen erforderte schon immer Planung. Heute versucht man einerseits mögliche zukünftige Entwicklungen von Energiesystemen vorherzusagen und die Effekte von äußeren Einflüssen, wie ökonomischen, technischen oder gesellschaftlichen Entwicklungen und steuernden Maßnahmen zu untersuchen. Andererseits werden in Bezug auf erneuerbare Energien zukünftige Möglichkeiten unter technischen, ökologischen, ökonomischen und gesellschaftlichen Rahmenbedingungen in sogenannten Potentialstudien analysiert. In beiden Fällen werden oft Modelle, aber immer Experten herangezogen. Die erhaltenen Ergebnisse bilden Grundlagen für Diskussionen und Entscheidungen in vielen Bereichen.

Im Zuge energiewirtschaftlicher Analysen werden Szenarien und Prognosen eingesetzt, um zukünftige Entwicklungen und Zustände abzubilden⁷. In Szenarien werden verschiedene mögliche Zukunftsbilder dargestellt, abhängig von den gewählten Rahmenbedingungen bzw. Entwicklungen und Zielen. Prognosen dagegen zeigen die als am wahrscheinlichsten eingeschätzte Entwicklung. Die Basis bilden dabei vielfach Modelle. Angenommene zukünftige wirtschaftliche Entwicklungen und Annahmen über die Bevölkerungsentwicklung sind die treibenden Größen in diesen Modellen und werden über Funktionen implementiert. Die zugrunde gelegten Annahmen und die Art der Funktionen, die für die entsprechenden Zusammenhänge gewählt werden beeinflussen das Ergebnis der Szenarien und Prognosen entscheidend (vgl. Jochem 2008).

Man unterscheidet grundsätzlich zwei verschiedene Arten von Szenarien: deskriptive und normative Szenarien. Mit deskriptiven Szenarien werden verschiedene mögliche zukünftige Entwicklungen bei unterschiedlichen oder gleichen Rahmenbedingungen untersucht. Mit normativen Szenarien wird hingegen analysiert, wie definierte Zielzustände erreicht werden können. (Wolters 2001, 144)

Welche Szenarien man mit Rechenmodellen veranschaulichen kann, hängt davon ab, wie die Modelle aufgebaut sind und welche Zusammenhänge diese abbilden. Klar ist, dass für Szenarien nur Annahmen und Rahmenbedingungen variiert werden können, die auch in das

⁷ Zur Szenariotechnik und Prognose als spezielle Form des Szenarios siehe auch Kapitel 3.5 Seite 32.

Modell implementiert wurden. Bei Modellen zu energiewirtschaftlichen Fragestellungen sind dies vor allem ökonomische und technische Zusammenhänge. Stehen technische Zusammenhänge bei der Modellierung im Vordergrund so spricht man von Energieprozessmodellen, welche auf Basis einzelner Technologien ökonomische Werte errechnen. Beruht die Modellierung auf ökonomischen Ansätzen so spricht man von Energiewirtschaftsmodellen⁸. In jüngerer Zeit werden verstärkt auch klimarelevante Emissionen verknüpft, um entweder die entsprechenden Auswirkungen des prognostizierten Systems auszuweisen oder um zu untersuchen, welche Maßnahmen notwendig wären, um bestimmte maximale Emissionswerte zu erreichen.

In der Modellierung wird u. a. zwischen Querschnitts- und Zeitreihenanalysen unterschieden. Der Unterschied liegt in der Berücksichtigung zeitlicher Veränderungen. Während Querschnittsanalysen der Momentaufnahme eines Systems entsprechen, kann man mit Zeitreihenanalysen die Entwicklung zeitlicher Veränderungen von Systemeigenschaften analysieren. Im Falle einer dynamischen, also zeitabhängigen Modellierung ist für die Szenarienrechnungen entscheidend, bis zu welchem Zeitpunkt betrachtet wird.

Neben Unterschieden in Anzahl und Art betrachteter Zusammenhänge und dynamischer vs. statischer Modellierung ist weiters der Betrachtungsbereich von entscheidender Bedeutung. Zum einen können unterschiedliche Regionen in Modellen bzw. Szenarien betrachtet werden, angefangen bei kommunalen über nationale bis hin zu weltweiten Untersuchungen. Zum anderen können Analysen auf bestimmte Bereiche beschränkt stattfinden, wie etwa die alleinige Betrachtung des Stromsektors oder der Wärmenachfrage und –bereitstellung.

Zu den bekanntesten und einflussreichsten Voraussagen der Entwicklung des weltweiten Energiesystems zählt der jährlich herausgegebene World Energy Outlook (WEO) der International Energy Agency (IEA). In der Ausgabe des Jahres 2008 wird eine Prognose des Energiesektors bis in das Jahr 2030 gemacht. Es wird vorhergesagt, dass bei gleichbleibenden Tendenzen der globale Energiebedarf um durchschnittlich 1,6 % pro Jahr bis 2030 steigen soll. Der Anteil erneuerbarer Energien an der gesamt eingesetzten Primärenergie hätte dann 10 % (7 % im Jahr 2006). Im gleichen Zeitraum soll der erneuerbare Stromanteil von 18 auf 23 % steigen. In zwei weiteren normativen Szenarien wird als Ziel eine

⁸ Siehe dazu auch Kapitel 3.3 Prozessmodellierung in Abhängigkeit der Aufgabenstellung, Seite 26

Stabilisierung der Treibhausgaskonzentration in der Atmosphäre vorgegeben (450 bzw. 550 ppm CO₂-eq). Mit ökonomischen und politischen Mitteln würde der Primärenergiebedarf im Jahr 2030 um 9 % unter der Prognose liegen. Die Erneuerbaren hätten dann einen Anteil von gut 17 %, Atomenergie knapp 7 %, fossile Energieträger würden stärker benötigt werden als heute (IEA 2008). Zur Berechnung wird dabei ein ökonomisches Modell verwendet, das die weltweiten Energiemärkte in Wechselwirkung mit den verschiedenen Volkswirtschaften dynamisch simuliert. Neben diesem sogenannten World Energy Model (WEM) existieren noch eine Reihe weiterer Energiesystemmodelle, bei denen die zeitliche Dynamik ökonomischer und technischer Zusammenhänge im Vordergrund stehen.

Mit einem ähnlich strukturierten technologiebasierten Modell wurde eines der wenigen Szenarien gerechnet, in denen zu den Klimazielen der Ausstieg aus der Nutzung der Kernenergie als zusätzliches Ziel definiert wurde. Im sogenannten „Faktor Vier-Szenario“ wird der Einsatz energieeffizienter Technologien forciert. Der weltweite Primärenergiebedarf würde bis 2050 hauptsächlich durch nachfrageseitige Maßnahmen nur leicht steigen, in OECD Ländern sogar deutlich fallen. Fossile Energieträger würden an Bedeutung verlieren und Erneuerbare, allen voran Biomasse und solarbasierte Technologien hätten einen Anteil von über 60 %. Dabei würden die weltweiten jährlichen CO₂ Emissionen in diesem Zeitraum etwa halbiert werden. (Wolters 2001)

In Österreich zählen die Energieszenarien des nationalen Wirtschaftsforschungsinstituts (WIFO) zu den bedeutendsten Betrachtungen zukünftiger Trends und Möglichkeiten im inländischen Energiesektor. Das verwendete Modell basiert auf einem ökonomischen Ansatz. Im Baseline-Szenario, in dem derzeitige Tendenzen im Energiesektor fortgeschrieben werden, wird ein jährlicher Anstieg des energetischen Endbedarfs um 1,1 % prognostiziert. Die erneuerbaren Energieträger würden dabei kaum an Bedeutung gewinnen. In einem Effizienz-Szenario, in dem in den Sektoren Haushalte, Dienstleistungen und PKW-Verkehr Effizienzsteigerungen angenommen werden, aber kein forcierter Ausbau erneuerbarer Energien, wird ein Anstieg von durchschnittlich 0,6 % des energetischen Endbedarfs ausgewiesen. Auch hier würden die Erneuerbaren kaum an Bedeutung gewinnen. (Kratena & Wüger 2005)

Mit dem integrierten Umwelt-Energie-Wirtschaft-Modell E3.at des Sustainable Europe Research Institute (SERI) wurden ebenfalls Szenarien der österreichischen Energieversorgung

bis zum Jahr 2020 gerechnet. In den Szenarien wird der Einsatz erneuerbarer Technologien in der Strom- und Wärmebereitstellung forciert. Effizienzmaßnahmen und Verhaltensänderungen werden dabei nicht unterstellt. In drei Szenarien werden jeweils andere erneuerbare Technologien forciert und in einem vierten werden alle Änderungen kombiniert. Der energetische Endbedarf steigt in allen Szenarien etwa um 2 % pro Jahr. Der höchste Anteil erneuerbarer Energien wird im vierten Szenario mit 28,3 % erreicht. (Großmann, et al. 2008)

Um Interaktionen zwischen erneuerbarer und konventioneller Energiebereitstellung und dem Einfluss politischer Maßnahmen zu untersuchen wurden am Institut für Energiewirtschaft der TU Wien die Green-X Modelle entwickelt. Es handelt sich dabei um ökonomisch basierte dynamische Modelle, wobei verschiedene Versionen entwickelt wurden: Im Jahr 2004 wurden zwei unterschiedliche Versionen des Modells Green-X verfügbar. Eine Version legt den Schwerpunkt auf den Elektrizitätsbereich. Das Zusammenspiel zwischen erneuerbarer und konventioneller Strombereitstellung sowie kombinierter Strom- und Wärmebereitstellung, Maßnahmen auf der Bedarfsseite und die Auswirkungen auf die Treibhausgasemissionen werden untersucht. Das Modell bildet die EU-15 Staaten ab, wobei die einzelnen Staaten auch separat untersucht werden können. Der Zeithorizont ist wie auch bei der zweiten Version von Green-X das Jahr 2020. Die erweiterte Grundversion des Modells bildet neben dem Stromsektor auch die Entwicklungen in den Sektoren Wärme und Transport ab. Darüber hinaus werden neben den EU-15 auch weitere europäische Staaten betrachtet (Resch & Faber 2007). Für eine Betrachtung des Biomassesektors wurde das Green-X Modell angepasst. Mit dem Green-X_{Bio-Austria} einem dynamischen Bottom-up⁹ Modell, erfolgt eine Simulation von Investitionstätigkeiten im Biomassesektor auf Basis ökonomischer Entscheidungen. Es bildet Biomasetechnologien und entsprechende fossile Referenztechnologien ab, wobei Auswirkungen von Fördermechanismen simuliert werden können (Kranzl, et al. 2008).

Neben den beschriebenen existieren noch eine Reihe weiterer Modelle, die zur Untersuchung verschiedener Teilbereiche des österreichischen Energiesystems entwickelt wurden. Beispielsweise wurde ein Modell des österreichischen Gebäudebestandes zur Untersuchung der Wärme- und Kälteversorgung bis in das Jahr 2030 eingesetzt (Haas, et al. 2007). Weiters

⁹ Zum Unterschied zwischen Bottom-up und Top-down Modellierung in der Energieökonomie siehe Kapitel 3.3 Seite 26.

wird derzeit das Modell Adres entwickelt, welches ein leistungsautonomes intelligentes Stromnetz simuliert, das Strom nur aus erneuerbaren Quellen bezieht (Einfalt, et al. 2009).

Bei den systemischen Betrachtungen der Energieversorgung ganzer Volkswirtschaften handelt es sich in den meisten Fällen um Modelle mit ökonomischen Ansätzen. Stehen Technologien im Vordergrund, so werden trotzdem meist ökonomische Werte errechnet und monetäre Zusammenhänge verstärkt berücksichtigt. Dies folgt dem Ziel entsprechender Untersuchungen, mögliche zukünftige Zustände von Energiesystemen in einem vom Zeitpunkt der Studie ausgehenden definierten Zeitrahmen bei verschiedenen Entwicklungen abzubilden. Um die Möglichkeiten erneuerbarer Energiebedarfsdeckung unabhängig von marktwirtschaftlichen Einschränkungen aufzuzeigen ist es notwendig monetäre Zusammenhänge auszuschließen und sich auf technische Eigenschaften und naturwissenschaftliche Grundlagen zu konzentrieren. Darüber hinaus wird es durch eine stationäre Modellierung möglich den Zustand eines (nicht existenten) Energiesystems zu optimieren.

Bei Potentialstudien erneuerbarer Energien handelt es sich, wie auch bei Szenarien zukünftiger Entwicklungen von Energiesystemen, um die Darstellung möglicher Zukunftsbilder. Je nachdem, welcher Zeithorizont untersucht wird, welche Zusammenhänge betrachtet und welche Rahmenbedingungen und Entwicklungen (v. a. technische) angenommen werden, unterscheiden sich auch hier die erhaltenen Ergebnisse. Meist wird von einem theoretischen Potential ausgegangen, das sich aus physikalischen Gesichtspunkten ergibt. Dieses wird schrittweise durch verschiedene Einschränkungen reduziert. In vielen Fällen werden einzelne erneuerbare Energiequellen untersucht, teilweise erfolgt eine Betrachtung mehrerer Quellen. Erst in letzter Zeit wird versucht einen Großteil der zur Verfügung stehenden erneuerbaren Energiequellen als Gesamtes zu betrachten.

Im Jahr 2008 veröffentlichte das Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft (BMLFUW) eine zusammengefasste Darstellung möglicher scheinender Potentiale erneuerbarer Energien in Österreich bis zum Jahr 2020. Es handelt sich um Berechnungen und Expertenmeinungen aus den verschiedenen betrachteten Teilbereichen, wobei eine detaillierte Untersuchung stofflicher Nutzungskonkurrenzen nicht erfolgt ist. Im Bereich der Forstwirtschaft werden importierte Holzsortimente ebenfalls zu den Potentialen gezählt. (BMLFUW 2008 B)

In zwei Studien zu den in Österreich vorhandenen Potentialen wird auf die regional stark unterschiedliche Verteilung erneuerbarer Energiequellen eingegangen. Im Projekt „Energie und Raumentwicklung“ und im Projekt „Regioenergy“ werden mögliche Potentiale bis 2020 untersucht und auf Bezirksebene ausgewiesen. Im Projekt „Energie und Raumentwicklung“ wird ein theoretisches Potential, das auf physikalischen Gesichtspunkten aufbaut, mittels technologischer Faktoren auf ein technisches Potential verringert. Dieses wird in verschiedenen Szenarien mit unterschiedlichen, vorwiegend raumbezogenen Einschränkungen zu einem realisierbaren Potential reduziert. Mit Hilfe der Geoinformatik erfolgt eine regionale Auflösung der Ergebnisse. Es sollen Antworten auf die Fragen der realisierbaren Potentiale erneuerbarer Energien bis 2020 und den Einfluss verschiedener Raumordnungsinstrumente gefunden werden.

Im Projekt „Regioenergy“ wird neben dem Potential bis 2020 auch das Potential bis 2012 untersucht. Es wird ein technisches Potential über vorhandene Flächen, Flächenkonkurrenzen, Technologien und erreichbare Erträge errechnet. Dieses wird über Produktionskonkurrenzen, Nutzungseinschränkungen und Minimaleffizienzen zu einem reduzierten technischen Potential verringert. Die Ergebnisse sollen als Basis für regionale Strategien und Energiekonzepte dienen.

Im Unterschied zu diesen Potentialstudien soll in der hier vorliegenden Untersuchung eine variable Darstellung der Potentiale, je nach eingesetzter Technologie und Priorität der Flächenzuweisung erfolgen. Durch die gleichzeitige Verknüpfung mit dem Energiebedarf sollen die aus technischer Sicht sinnvollsten Energiebereitstellungsketten eruiert werden können.

3 Vorgangsweise und verwendete Methoden

Um die technischen Möglichkeiten der Energiebedarfsdeckung aus erneuerbaren Quellen zu studieren, wird ein Prozessmodell erstellt. In diesem Kapitel wird die Vorgangsweise und das eingesetzte Modellierungstool vorgestellt. Nach einer Beschreibung des theoretischen Ansatzes folgt ein Vergleich mit anderen Methoden zur Untersuchung und Darstellung des sozioökonomischen Energieflusses. Weiters wird auf die unterschiedlichen Anwendungen von Prozessmodellen zur Bearbeitung verschiedener Aufgabenstellungen eingegangen und das für die Modellerstellung gewählte Softwaretool vorgestellt. Untersuchungen am Modellsystem werden mittels Szenarien durchgeführt. Die Szenariotechnik und die Aussagen von Szenarien werden deshalb ebenfalls diskutiert. Da ein großer Teil der Arbeit in der Sammlung und Verknüpfung von Daten besteht, werden Datenherkunft und -struktur in einem eigenen Kapitel angesprochen.

3.1 Modellansatz

Zur Untersuchung der technischen Möglichkeiten, den österreichischen Energiebedarf aus erneuerbaren Quellen zu decken, wird zum einen der inländische Bedarf in seinen Strukturen modelliert, und 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.

Vor allem im Energiebedarf aber auch auf Seite der Potentiale charakterisieren statistische Daten die jeweiligen Bereiche. Über technische und naturwissenschaftliche Zusammenhänge werden Bedarf und Potentiale miteinander verknüpft. Darüber hinaus werden Ergebnisse anderer Studien speziell im Bezug auf die langfristig vorhandenen Potentiale in die Modellierung mit einbezogen. Entscheidend für die Wahl der Daten ist die Genauigkeit mit der ein Bereich modelliert werden soll. 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 auf-

grund der in Kapitel 1.2 auf Seite 8 dargestellten 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 Szenarioanalyse leicht verändert werden. Die Prozesse werden über Energie- bzw. Rohstoffflüsse miteinander verbunden. Dadurch entsteht ein statisches Prozessmodell des Energieflusses durch die Volkswirtschaft, wobei Energiebedarf und -aufkommen im Grundzustand des Modells nicht aufeinander abgestimmt sind, Differenzen werden über Ausgleichsglieder abgeglichen.

Der Ansatz des Modells beinhaltet keine Interaktion mit anderen Volkswirtschaften. Defizite bzw. Überschüsse an Energieträgern, die sich aus der Bilanzierung zwischen Bedarf und Bereitstellung ergeben, können aber als Import bzw. Export interpretiert werden.

Durch die Visualisierung des Energieflusses von Primärenergie bis hin zu Nutzenergie lassen sich Bereiche ineffizienter Nutzung leicht identifizieren. Die tiefgehende Modellierung ausgewählter Bereiche ermöglicht darüber hinaus eine Bearbeitung und Veranschaulichung energiebedarfsrelevanter Strukturen in der Volkswirtschaft.

3.2 Energiebilanz und Energieflussanalyse

Eine Gegenüberstellung von Energiebedarf und -bereitstellung erfordert eine Bilanzierung der beiden Seiten auf Ebene der Energieträger. Gleichzeitig wird der Energiefluss durch das sozioökonomische System analysiert. Es ist daher notwendig, die Begriffe Energiebilanz und Energieflussanalyse zu diskutieren, um die Gemeinsamkeiten und Unterschiede zwischen diesen und dem in dieser Arbeit gewählten Ansatz herauszuarbeiten.

Die österreichische Energiebilanz wird jedes Jahr von Statistik Austria erstellt. Dabei werden das Aufkommen und die Verwendung von Energie im betrachteten Jahr einander gegenübergestellt. Die Basis bilden dabei statistische Erhebungen aus verschiedenen Bereichen der Volkswirtschaft. Um den Energiefluss zu rekonstruieren, werden diese Daten über ein

Berechnungstool miteinander verknüpft, wodurch die dazwischen liegenden Umwandlungen berücksichtigt werden (Bittermann 2007). Die Energiebilanz stellt eine Querschnittsanalyse des Energieeinsatzes eines betreffenden Jahres dar. Die Energiebilanzen mehrerer Jahre ergeben zusammen Zeitreihen der verschiedenen Bilanzbereiche. Als wichtige Bilanzposten enthält die nationale Energiebilanz Importe, inländische Erzeugung, Exporte, Endenergieeinsatz, Verluste, nichtenergetischer Verbrauch, Verbrauch Sektor Energie¹⁰, Transportverluste und Lager¹¹.

Zur Modellierung des Energiebedarfs werden in dieser Studie Daten aus der Energiebilanz des Jahres 2005 verwendet. Da es sich um einen statischen Modellansatz handelt, finden Zeitreihen keine Anwendung. Tiefgehend modellierte Bereiche auf der Bedarfsseite können nicht mit Daten der Energiebilanz angesetzt werden. Diese Daten dienen aber in weiterer Folge zur Verifizierung der erhaltenen Ergebnisse. Die Bereitstellung von Energieträgern fließt in das Modell über zukünftig möglich scheinende Potentiale erneuerbarer Energieträger ein, unabhängig von der nationalen Energiebilanz. Eine Bilanzierung zwischen Aufkommen und Bedarf erfolgt aber ebenfalls auf Ebene der Energieträger. Während die Energiebilanz dabei zwischen den zuvor aufgezählten Bilanzposten unterscheidet, wird in diesem Ansatz inländische Bereitstellung, inländischer Bedarf und eine Über- oder Unterdeckung in absoluten Zahlen angegeben. Weiters handelt es sich bei der Energiebilanz um die Verwaltung statistisch erhobener Daten zum jährlich auftretenden Energieträgerfluss an verschiedenen Stellen des Energiesystems. Im Gegensatz dazu werden in dieser Untersuchung der Energiebedarf und die Potentiale erneuerbarer Energieträger über Technologieglieder funktional miteinander verknüpft.

Im Gegensatz zu den nationalen Energiebilanzen, die zumeist nur Energieflüsse erfassen, die über Märkte gesteuert werden, betrachtet die Energieflussanalyse (EFA) alle Energieflüsse durch ein sozioökonomisches System (Schandl, et al. 2002). Das bedeutet, dass z.B. auch menschliche und tierische Arbeit als Energieflüsse betrachtet werden. Dies ist in den nationalen Energiebilanzen und auch in der Umsetzung dieser Studie nicht der Fall. Die nicht

¹⁰ Unter dem Sektor Energie werden die Bereiche Energiegewinnung, -umwandlung und -versorgung verstanden. Diese Sektoren besitzen laut Definition keinen energetischen Endverbrauch.

¹¹ Darunter sind Veränderungen in den Lagerbeständen zu verstehen.

energetische Nutzung von Biomasse, die in den Energiebilanzen ebenfalls nicht betrachtet wird, geht in die Betrachtungen dieser Studie zwar ein, wird aber nicht als Energiefluss angesehen. In der EFA wird unter dem Energieinhalt von Materialien die bei vollständiger Oxidation frei werdende Energiemenge (Brennwert) verstanden (Schandl, et al. 2002). Sowohl in dieser Studie als auch in den Energiebilanzen wird zur Charakterisierung des Energieinhaltes von Brennstoffen der Heizwert herangezogen, in dem die meist ungenutzte Verdampfungswärme des bei der Verbrennung entstehenden Wasserdampfes berücksichtigt ist.

Sowohl in den Energiebilanzen als auch in der EFA wird der Energiefluss durch eine Volkswirtschaft zu einem bestimmten Zeitpunkt betrachtet. Aufkommen und Bedarf sind dabei aufeinander abgestimmt. In dieser Arbeit ist dies, wie schon erläutert, nicht der Fall. Bedarf und Aufkommen werden funktional miteinander verknüpft, um über Szenarien verschiedene Möglichkeiten der Bedarfsdeckung zu analysieren.

3.3 Prozessmodellierung in Abhängigkeit der Aufgabenstellung

Prozessmodelle werden in unterschiedlichen wissenschaftlichen Disziplinen zur Lösungsfindung bei verschiedenen Aufgabenstellungen eingesetzt. Es werden grundsätzliche Aspekte von Prozessmodellen aus der Energiewirtschaft, der Verfahrenstechnik und der ganzheitlichen Bilanzierung angesprochen, die sich aus der jeweiligen Aufgabenstellung ergeben.

Zur Lösung energiewirtschaftlicher Fragestellungen werden Energiewirtschaftsmodelle und Energieprozessmodelle eingesetzt. Energiewirtschaftsmodelle sind dabei ökonomische Modelle, wobei aggregierte ökonomische Größen die Basis der Modelle bilden. Sie werden deshalb auch als top-down Modelle bezeichnet. Energieprozessmodelle stehen im Gegensatz dazu auf Basis einzelner Technologien. Energiewirtschaftliche und makroökonomische Daten werden daraus durch Aggregation berechnet, weshalb diese Modelle auch als bottom-up Modelle bezeichnet werden (Krey 2006, 6). Mit Energieprozessmodellen können Fragestellungen in Bezug auf das Energiesystem unter Berücksichtigung ökonomischer Rahmenbedingungen untersucht werden.

In der Verfahrenstechnik werden Prozessmodelle zur Untersuchung von Stoff- und Energieumwandlungen innerhalb eines verfahrenstechnischen Systems eingesetzt. Die einzelnen

Prozesseinheiten (unit operations) bestimmen dabei aufgrund ihrer Auslegung die jeweiligen Input und Outputwerte. Ein Zusammenhang zwischen In- und Output wird dabei über die Massen- und Energieerhaltung hergestellt (Wietschel 2002, 107). In der Anwendung verfahrenstechnischer Prozessmodelle wird versucht empirisch erhaltene Daten zu analysieren und auf andere Systemzusammensetzungen oder Anlagengrößen anzuwenden. In dieser Studie wird das Prozessmodell aus analytischen Daten geformt.

Sowohl bei verfahrenstechnischen als auch bei energiewirtschaftlichen Modellen spielt die Systemdynamik meist eine wichtige Rolle bzw. wird in den Modellen berücksichtigt. Für diese Untersuchung wird ein statisches Modell entwickelt und angewendet.

Im Gegensatz zur Modellierung verfahrenstechnischer Prozesse bewegen sich Modelle zur ganzheitlichen Bilanzierung bzw. zur Lebenszyklusanalyse auf relativ abstrakter Ebene. Bei der verfahrenstechnischen Prozessoptimierung ist eine hohe Detaillierung meist sinnvoll oder notwendig. Da in der ganzheitlichen Bilanzierung oft globale, zumindest aber regionale Stoffströme betrachtet werden, führt eine entsprechend hohe Detailtreue sehr schnell zu komplexen Modellen (vgl. Volz 1999).

Für die in dieser Studie behandelte Fragestellung wird ein Prozessmodell erstellt, das als eine Mischung dieser Modelltypen verstanden werden kann. Am wenigsten entspricht es dabei verfahrenstechnischen Modellen. Es werden zwar Umwandlungsprozesse abgebildet, die auch mit verfahrenstechnischen Modellen bearbeitet werden, es soll dabei aber keine Erkenntnis über das Wesen der Umwandlung erhalten werden. Die Systemgrenzen und Detailtiefe der Modellierung dieser Arbeit entsprechen etwa dem von Energieprozessmodellen. Allerdings werden in dieser Arbeit keine ökonomischen Einflüsse auf das Energiesystem betrachtet. Dafür werden energetische Aufwendungen, die zur Herstellung von Technologien benötigt werden und in einigen Bereichen Emissionen bei Anwendung der Technologien in der Modellierung berücksichtigt. Dies entspricht dem Wesen der ganzheitlichen Bilanzierung, die versucht möglichst viele Wechselwirkungen zwischen dem System und seiner Umwelt zu berücksichtigen.

In der Prozessmodellierung sind die Begriffe Prozess und Fluss von essentieller Bedeutung. Unter einem Prozess versteht man einen Umwandlungsvorgang von Eingangs- zu Ausgangsgrößen. Eine Größe kann Energie, Stoff, Dienstleistung, ein monetärer Wert o. Ä. sein.

Ausgangsgrößen können mit Eingangsgrößen anderer Prozesse über sogenannte Flüsse in Zusammenhang gebracht werden.

3.4 Das Modellierungswerkzeug GaBi

GaBi ist eine Software zur Erstellung von Prozessmodellen, entwickelt zur computer-gestützten ganzheitlichen Bilanzierung.

Die Software unterscheidet zwischen folgenden Klassen: Einheiten, Größen, Flüssen, Prozessen, Prozessplänen und Bilanzen. In dieser Reihenfolge bauen die Klassen aufeinander auf: Größen haben Einheiten, Flüsse haben Größen usw. Die Objekte, die es von diesen Klassen gibt, können aus einer Objektdatenbank (z.B. ECOINVENT oder Prof DB) entnommen und in dieser Form im Modell verwendet werden. Sie können aber auch verändert oder selbst definiert werden. Objekte können baumartig strukturiert werden, ähnlich Verzeichnissen auf einer Festplatte, und somit bei großen Datenmengen übersichtlich verwaltet werden.

Zur Erstellung eines Prozessmodells werden Prozesse auf einem Prozessplan positioniert und über Flüsse miteinander verbunden. Unter Prozess wird in diesem Zusammenhang ein Umwandlungsvorgang verstanden, der eintretende Ströme in austretende Ströme umwandelt und dabei das Verhältnis zwischen Input- und Outputmengen festlegt. Diese Ströme können Stoffe, Energie, ein monetärer Wert o. Ä. sein. Ein Output eines Prozesses kann dann mit einem Input eines anderen Prozesses verbunden werden, wenn diese die gleichen Größen haben. Dieser Fluss wird dann auf dem Prozessplan ersichtlich. Darüber hinaus bedeutet dies, dass die Menge des Outputs des einen Prozesses der Menge des Inputs des anderen Prozesses gleichgesetzt wird. Die Prozesse sind ab diesem Zeitpunkt voneinander abhängig. Wird nun einer der beiden Prozesse in seinen Flusswerten fixiert bestimmt er somit alle In- und Outputwerte beider Prozesse.

Die Prozesse enthalten Daten über deren Input- und Outputflüsse. Dabei ist wichtig zu unterscheiden, dass Prozesse einerseits durch einen sogenannten Datensatz und andererseits über eine Instanz bestimmt sind. Der Datensatz enthält die für einen Prozess charakteristische Konfiguration, also das Verhältnis zwischen den Input- und Outputwerten (s. Abbildung 6, Seite 29).

AT: KWK - WG - Dampfturbine [Prozesse] -- DB-Prozess

Objekt Bearbeiten Ansicht Hilfe

Bezeichnung: AT KWK - WG - Dampfturbine

Quelle Typ

Parameter

Parameter	Formel	Wert	Stand	Kommentar
PW	Wirkgrad_th/100	0,65		
Strom	Wirkgrad_el/100	0,15		
Wirkgrad_el		15	0 %	[%]
Wirkgrad_th		65	0 %	[%]
Parameter				

LCA LCC: 0 € LCWT Dokumentation

Jahr: 2008 Region: Längengrad: Breitengrad: Alloziert: Kein Bild

Vollständigkeit: keine Angabe Kommentar:

Synonyme:

Inputs

Alias	Fluss	Grösse	Menge	Faktor	Einheit	Wertstoff	Standard	Herkunft	Kommentar
	Biomasse fest - ZEFÖ [Energieträger]	Energie (unterer Heiz)	1	1	MJ	X	0 %	(keine Angabe)	
	Fluss								

Outputs

Alias	Fluss	Grösse	Menge	Faktor	Einheit	Wertstoff	Standard	Herkunft	Kommentar
PW	Prozesswärme - Dampfturbine [Thermische Energie]	Energie (unterer Heiz)	0,65	1	MJ	X	0 %	(keine Angabe)	
Strom	Strom - ZEFÖ [Energieträger]	Energie (unterer Heiz)	0,15	1	MJ	X	0 %	(keine Angabe)	
	Fluss								

System: Keine Änderung. Letzte Änderung: System, 23.12.2008 13:22:55

Abbildung 6: Datensatz des Prozesses „KWK –WG – Dampfturbine“

Die Instanz spiegelt die aktuellen Flusswerte der einzelnen In- und Outputs wider und kann, wie auch der Datensatz, verändert werden. Wird ein Prozess auf einem Prozessplan positioniert, so wird für diesen eine Instanz gegründet. Es kann auf einem Prozessplan auch der gleiche Prozess zwei- oder mehrmals positioniert werden, was dazu führt, dass für jeden dieser Prozesse eine eigene Instanz gebildet wird, der sogenannte Datensatz aber bleibt für alle Prozesse der gleiche. Änderungen in der Instanz haben keine Auswirkungen auf den zugrunde liegenden Datensatz.

Prozesse können auf verschiedene Weisen manipuliert werden. Im Datensatz können sowohl Input- als auch Outputflüsse ergänzt oder entfernt werden. Die Zahlenwerte für ein- und ausgehende Flüsse können entweder als solche eingegeben, oder über Funktionen von Parametern abhängig gemacht werden (vgl. auch Abbildung 6). Das bringt auch den großen Vorteil mit sich, dass die Prozesse über diese Parameter von außen angesprochen und verändert werden können, was eine Szenarienanalyse erleichtert.

Es können zusätzlich beliebig viele Umrechnungsfaktoren eingegeben werden, was eine komfortable Größenein- und -ausgabe in den jeweils vorliegenden Einheiten ermöglicht.

In GaBi spiegelt ein Prozess einen Umwandlungsvorgang wider. Mehrere solcher Umwandlungsvorgänge auf einem Prozessplan aneinandergereiht, werden als Prozesskette bezeichnet und ergeben wieder einen Umwandlungsvorgang, der aus den einzelnen zusammenhängenden Umwandlungen besteht. Prozesse können also nicht nur durch einfache Input- Outputverhältnisse vorgegeben sondern auch durch Komposition modelliert werden. Es können Prozesspläne als Prozesse in anderen Plänen verwendet und somit Hierarchiestrukturen aufgebaut werden (s. Abbildung 7). Im Gegensatz dazu werden in vielen Fällen nicht alle Teile einer für eine Untersuchung relevanten Prozesskette detailliert analysiert. In solchen Fällen können sogenannte rückverknüpfte Prozesse verwendet werden, die bestimmte aneinandergereihte Teile einer Prozesskette zusammenfassen. Dies ist in solchen Fällen möglich, wo derartige rückverknüpfte Prozesse in Datenbanken zur Verfügung stehen.

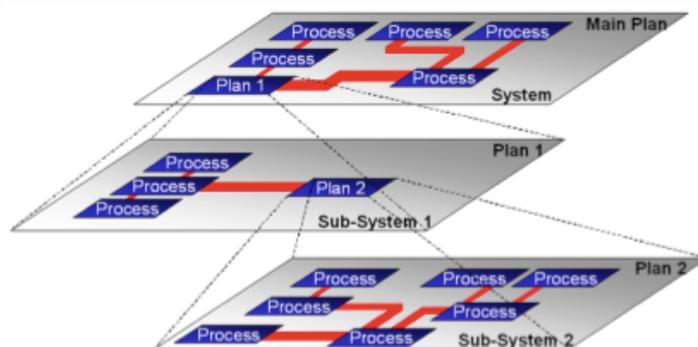


Abbildung 7: Hierarchiestruktur in GaBi; aus (PE INTERNATIONAL GmbH 2007)

Zwei oder mehrere Prozesse werden auf Plänen über die Flüsse zu Prozessketten verknüpft. Beim Aufbau eines Prozessplanes erfolgt eine visuelle Darstellung der Flüsse in wählbaren Einheiten wobei die Flussdicken den Mengen proportional sind. Diese Darstellungsweise wird auch als Sankey-Diagramm bezeichnet (s. Abbildung 8, Seite 31). Will man die Werte verschiedener Flüsse mit unterschiedlichen Einheiten visualisieren, so ist eine Sankey-Darstellung nicht möglich.

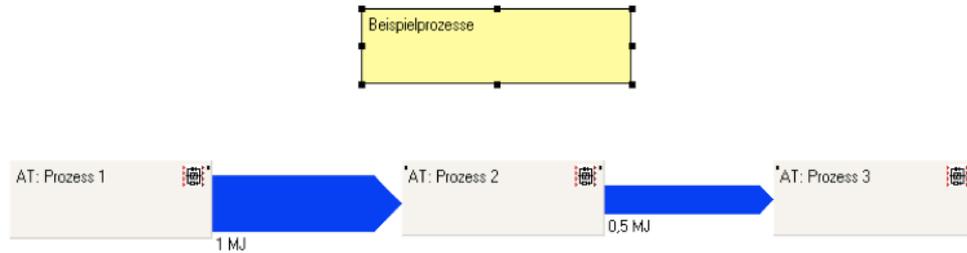


Abbildung 8: Prozessplan in GaBi

Prozesse bzw. Pläne sind modulare Einheiten mit unterschiedlichen Funktionen. Durch deren Verknüpfung über Flüsse entsteht ein stationäres, also zeitunabhängiges, Prozessmodell. Diese Prozessmodelle werden in Form von Projekten organisiert, wobei alle im Rahmen des Modells verwendeten Pläne, Prozesse, Flüsse und Bilanzen in einem Projektordner zusammengefasst werden.

Zur Durchführung von Szenarienanalysen werden in erster Linie zuvor definierte Parameter variiert. Die Auswirkungen können dann auf den Plänen visualisiert und untersucht werden. Um eine komfortable Änderung der Parameter zu ermöglichen verfügt GaBi über einen sogenannten Parameter-Explorer.

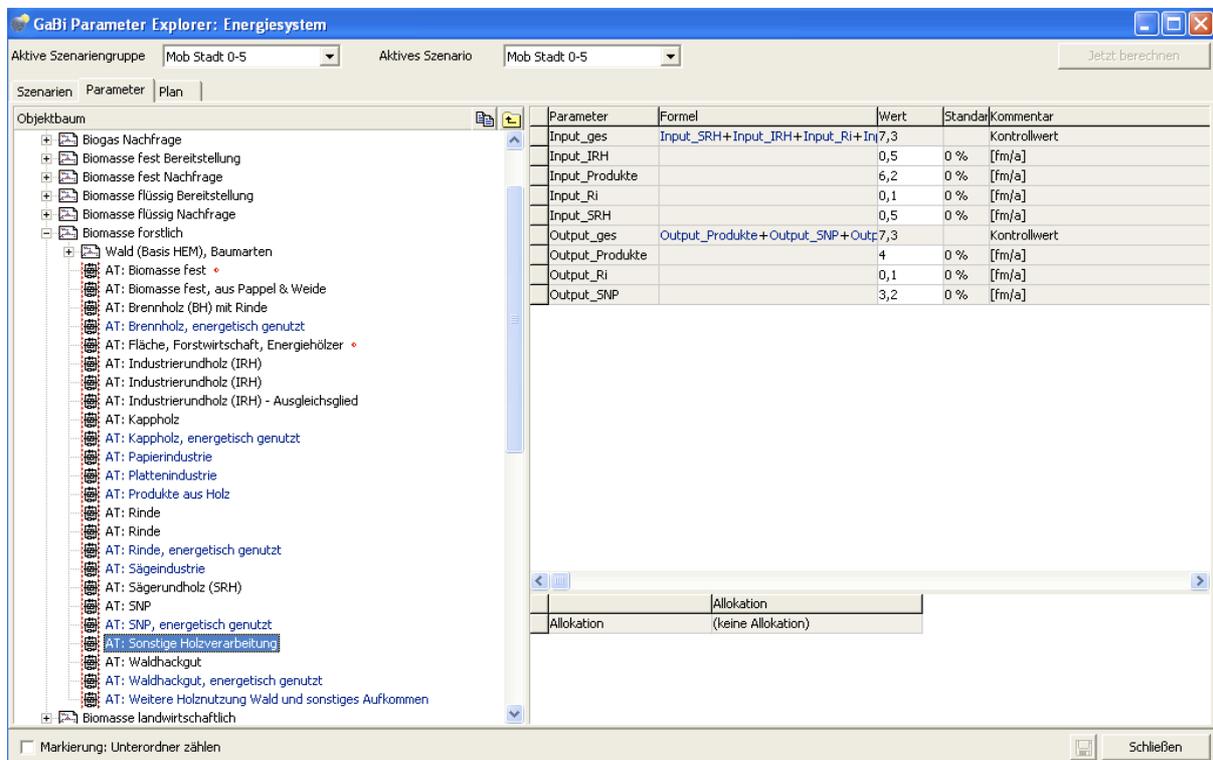


Abbildung 9: GaBi Parameter-Explorer

Durch dieses in Abbildung 9 auf der vorhergehenden Seite dargestellte Werkzeug ist es möglich, auf alle in einem Modell definierten Parameter über dieselbe Oberfläche zuzugreifen. Es können verschiedene Szenarien definiert und beliebig viele Parameter zu diesen hinzugefügt werden. Eine Visualisierung der Szenarien ist in dieser Oberfläche ebenfalls möglich, wodurch verschiedene Szenarien leicht miteinander verglichen werden können.

Für die Verwendung in anderen Programmen ist ein Export sowohl der Daten als auch der Fließbilder aus dem Programm möglich.

Für eine detaillierte Beschreibung der Funktionalität der GaBi-Software siehe vor allem (Volz 1999). Für weitere Hinweise zu Anwendung und Untersuchungsmöglichkeiten siehe (PE INTERNATIONAL GmbH 2007).

3.5 Szenariotechnik und Aussage von Szenarien

Die Szenariotechnik wurde in den 1960er Jahren vom amerikanischen Zukunftsforscher und Militärstrategen Hermann Kahn entwickelt. Das Ziel ist die Gewinnung bedingter Vorhersagen über die Zukunft. Bei sehr langfristigen Entwicklungen wird sie als Ergänzung zu Prognosemethoden herangezogen, bei denen die Fehleranfälligkeit durch die großen Vorhersagezeiträume stark zunimmt. (Schindler & Zittel 2008)

Ähnlich wie bei Prognosen werden für die Szenarien Annahmen über mögliche Abfolgen von Ereignissen des jeweils untersuchten Systemaspekts vorgenommen. Bei Prognosen werden die Annahmen mit der höchsten Eintrittswahrscheinlichkeit zum Erhalt eines Zukunftsbildes herangezogen, klarerweise immer nur aus der Perspektive zum Zeitpunkt der Prognose. Bei der Szenariotechnik werden dagegen zum einen extrem pessimistische und zum anderen extrem optimistische Annahmen getroffen, um dabei einen Prognosekorridor zu erhalten. Dadurch fällt die Aufmerksamkeit auf die kausalen Prozesse und Entscheidungspunkte für die Veränderung bzw. Entwicklung eines Systems. Relevante Rahmenbedingungen werden dabei in Form von Parametern in das Modell implementiert und für die Szenarien variiert. (vgl. Schindler & Zittel 2008)

In dieser Studie wird ein statisches Modell für die Szenarienuntersuchung verwendet. Aussagen über den Zeitraum, in denen abgebildete Veränderungen ablaufen, werden dabei keine getroffen. Auch wird auf die Berücksichtigung der Eintrittswahrscheinlichkeit in den Szenarien dargestellter technologischer Veränderungen verzichtet, dies erlaubt den reinen Blick auf die technischen Möglichkeiten erneuerbarer Energiebedarfsdeckung. In diesen Punkten unterscheiden sich die Szenarien in dieser Arbeit von der oben beschriebenen Szenariotechnik.

Die Ergebnisse aller Szenarienbetrachtungen sind von vielen Einflussparametern abhängig, aber vor allem von den getroffenen Annahmen und von dem zur Berechnung verwendeten Modell. Um die Ergebnisse von Szenarien richtig interpretieren zu können ist es daher wichtig, möglichst viele dieser Einflussparameter zu kennen. Eine hohe Transparenz in der Beschreibung des Modells und der getroffenen Annahmen ist daher sinnvoll.

Die für die Szenarien in dieser Arbeit gewählten Parameter und deren Einstellungen werden in Kapitel 5 auf Seite 139 dargestellt und auf deren Aussagen hin diskutiert.

3.6 Verwendete Daten

Hauptarbeit beim Aufbau des Modells ist die Suche, Interpretation und Implementierung von Daten zu möglichen potentiellen erneuerbaren Energiequellen, zu Struktur und Höhe des Energiebedarfs und zu verschiedenen Umwandlungstechnologien zwischen Primär- und Nutzenergie. Natürlich werden alle verwendeten Datenquellen im Text zitiert. Die wichtigsten Datenquellen in den verschiedenen Bereichen werden zu Beginn jedes Kapitels ausgewiesen.

An vielen Stellen des Modells werden Technologiedaten aus der ECOINVENT Datenbank verwendet. Diese enthalten neben den für diese Untersuchung entscheidenden Umwandlungswirkungsgraden auch Daten zu Herstellungsenergien, Emissionen in der Anwendung und teilweise in anderen Phasen des Lebenszyklus benötigte Inputs und anfallende Outputs. Mit dem Modell können daher nach weiterführender Vertiefung in weiteren Studien Nachhaltigkeitsbewertungen errechneter Szenarien erfolgen.

4 Aufbau der Arbeit

Der Aufbau des Modells hat einen großen Anteil an der Durchführung dieser Untersuchung. Die Erfassung und Verknüpfung der erforderlichen Daten mit den Möglichkeiten des Modellierungsprogramms ist Schwerpunkt in der Erstellung des Modells. Es wird in diesem Kapitel das Modell in seiner Form und seinen Einstellungen beschrieben. Dabei wird der spezielle Einsatz von Flüssen, Prozessen und Plänen, die Philosophie der Modellierung und die Struktur des Modells zu Beginn bearbeitet.

Darauf folgt die detaillierte Beschreibung des Aufbaus und der Einstellungen aller Ebenen des Modells für diese Aufgabenstellung. Zunächst werden die Potentialseite, dann die modellierten großtechnischen Umwandlungen von Energieträgern und in weiterer Folge der Energiebedarf behandelt. Zuletzt wird auf die beim Transport von Energieträgern auftretenden Verluste eingegangen.

Um eine schnelle Zugänglichkeit zur Struktur und zu den Möglichkeiten des Modells zu erlauben wird am Beginn jedes beschreibenden Kapitels ein Überblick über die gewählte Gliederung des Modellbereichs gegeben, die Eingabeparameter und die im jeweiligen Bereich erstellten Pläne werden aufgelistet und die Hauptdatenquellen und die für die Szenarienanalyse implementierten Aufteilglieder werden genannt.

Bei der Beschreibung der Potentiale erneuerbarer Energieträger erfolgt am Ende jedes Kapitels eine Gegenüberstellung von derzeitiger Nutzung und zukünftigem Potential. In der Beschreibung des Energiebedarfs erfolgt am Ende jedes Kapitels eine Darstellung der Zusammensetzung und der Höhe des Bedarfs. Gegliedert nach den Bereichen in denen Energie benötigt wird erfolgt eine Gegenüberstellung der bei den beschriebenen Einstellungen nachgefragten Energieträger und der daraus resultierenden Nutzenergie.

In den tief gehend modellierten Bereichen Biomassebereitstellung, Raumwärme- und Warmwasserbedarf sowie Mobilität erfolgt am Ende des Kapitels eine Diskussion zu den erhaltenen Ergebnissen.

4.1 Verwendung von Flüssen, Prozessen und Plänen

In den folgenden Kapiteln wird der spezifische Einsatz von Flüssen, Prozessen und Plänen zur Bearbeitung der vorhandenen Aufgabenstellung beschrieben.

4.1.1 Flüsse für Energie und andere Größen

Flüsse dienen im Modell dazu Prozesse zu verknüpfen und damit Abhängigkeiten abzubilden. Flüsse können dabei, abhängig von den Prozessen die sie verbinden, verschiedene Einheiten und Größen besitzen. Theoretisch können in dem verwendeten Modellierungstool beliebig viele Einheiten und Größen, und auch Flüsse, Prozesse und Pläne selbst definiert werden. In der vorhandenen Aufgabenstellung werden Flüsse mit den folgenden Größen verwendet:

- Flüsse mit der Größe **Energie** dienen zur Abbildung des Energieflusses durch die Volkswirtschaft. Dabei werden Flüsse für Primär- und Nutzenergie und für die dazwischen liegenden Energieträger definiert.
- Flüsse mit der Größe **Fläche** werden in verschiedenen Bereichen des Modells zur Darstellung des Zusammenhangs zwischen Fläche und Energie bzw. Fläche und Menge verwendet. Dazu zählen Dach-, Acker-, Grünland- und Forstflächen auf der Bereitstellungsseite und Wohnnutz- und Bruttogeschoßflächen auf der Bedarfsseite.
- Die in der Land- und Forstwirtschaft auf zur Verfügung stehenden Flächen gewonnenen Rohstoffe werden in ihren **Mengen** ausgewiesen. Je nach vorhandenen Daten werden diese in Masse oder Volumen angegeben.
- In einigen Fällen werden Flüsse mit der Größe **Anzahl** definiert. Mit diesen Flüssen werden Technologieprozesse mit entsprechenden Prozessen verbunden, die über Daten zu den Herstellungsaufwendungen jeweiliger Anlagen verfügen.
- Im Mobilitätsbereich werden die nachgefragten Verkehrsleistungen über die Größen **Tonnenkilometer** und **Personenkilometer** in das Modell implementiert.

Zu bemerken ist, dass die Größen Energie, Menge, Anzahl, Tonnen- und Personenkilometer durch die behandelte Aufgabenstellung auf ein Jahr bezogen sind, auch wenn dies im Programm nicht explizit ausgewiesen ist.

4.1.2 Zielgerichteter Einsatz von Prozessen

Durch Prozesse können Vorgänge beschrieben werden. Dabei wird der wertmäßige Zusammenhang zwischen in den Prozess eintretenden Flüssen und aus diesem austretenden Flüssen angegeben. Dieses Verhältnis kann entweder fix eingestellt oder über Parameter variabel gestaltet werden, was eine Manipulation der Prozesscharakteristik erleichtert. In der Prozessmodellierung werden Parameter dort eingesetzt, wo die Auswirkungen der Veränderung von Prozesseigenschaften untersucht werden sollen unter der Voraussetzung, dass die dafür notwendigen Zusammenhänge bekannt sind. In diesem Modell werden Parameter in fast allen Prozessen verwendet, um eine möglichst große Flexibilität in der Untersuchung zu ermöglichen. Für diese Arbeit wird nur eine geringe Anzahl davon in der Szenarienanalyse manipuliert.

Prozesse die über Flüsse miteinander verbunden werden bilden sogenannte Prozessketten. Dabei wird der Charakter der einzelnen Prozesse durch ihre jeweiligen Verhältnisse zwischen Input und Output ausgedrückt. Zur Festlegung der absoluten Flussmengen in einer Prozesskette müssen je nach deren Komplexität ein oder mehrere Prozesse in ihren absoluten Flussmengen fixiert werden.

Es kann eine Unterscheidung der verwendeten Prozesse in solche mit und solche ohne Umwandlungsfunktion getroffen werden. Beide Arten und deren spezielle Verwendung für diese Aufgabenstellung wird in den folgenden zwei Unterpunkten vorgestellt.

4.1.2.1 Prozesse mit Umwandlungsfunktion

Es handelt sich dabei um Prozesse, die in irgendeiner Form einen Input (oder mehrere) in den Prozess zu einem sich davon unterscheidenden Output (oder mehrere) umwandeln. Der Großteil der in das Modell eingeflossenen Prozesse besitzt eine Umwandlungsfunktion. Mit diesen Prozessen wird die Charakteristik der Technologien in den Energiebereitstellungs-,

Umwandlungs- und Bedarfsketten beschrieben. Darüber hinaus dienen sie dazu, einen Zusammenhang herzustellen bzw. abzubilden zwischen vorhandenen Flächen bzw. Primärenergiepotentialen über eventuelle Zwischenprodukte und daraus bereitstellbare Energiedienstleistungen. Die Mehrzahl der im Modell verwendeten Umwandlungsprozesse wird im Zuge des Modellaufbaus auf Basis von Literaturwerten erstellt. In einigen Bereichen werden Prozesse aus der ECOINVENT Datenbank entnommen und teilweise angepasst.

4.1.2.2 Prozesse ohne Umwandlungsfunktion

Es werden in diesem Modell für drei spezielle Anwendungen Prozesse ohne Umwandlungsfunktion benötigt. Diese werden entsprechend ihrer Funktion als Aufteilglieder, Durchgangsglieder und Ausgleichsglieder bezeichnet.

Aufteilglieder

Unter einem Aufteilglied wird im Modell ein Prozess verstanden, der einen Fluss in mehrere Flüsse aufteilt, wobei das Verhältnis der Aufteilung über Parameter im Prozess definiert wird und somit für eine Szenarienbetrachtung variiert werden kann. Eine Aufteilung ist in zwei Richtungen möglich: Ein Inputfluss kann auf mehrere Outputflüsse aufgeteilt werden, wie dies beispielsweise bei der Verteilung landwirtschaftlicher Ackerfläche auf verschiedene Energiepflanzen der Fall ist. Es kann aber auch ein Outputfluss auf mehrere Inputflüsse aufgeteilt werden. Dies kommt vor, wenn ein Energiebedarf über mehrere Technologien gedeckt werden kann. Die Darstellung eines Aufteilgliedes zeigt Abbildung 10 auf der nächsten Seite.

Durchgangsglieder

Durchgangsglieder sind Prozesse, die ihren Input unverändert als Output ausgeben, die also keinen Umwandlungsvorgang darstellen. Sie zeichnen sich auch dadurch aus, dass sie einen Inputfluss und einen in Größe und Wert gleichen Outputfluss besitzen. Sie dienen dazu einen Fluss auf dem jeweiligen Prozessplan zu visualisieren (vgl. Abbildung 10, Seite 39).

KWK - Stromgeführt

GaBi 4 Prozeßplan/Referenzgrößen
Es werden die Namen der Basisprozesse angezeigt.

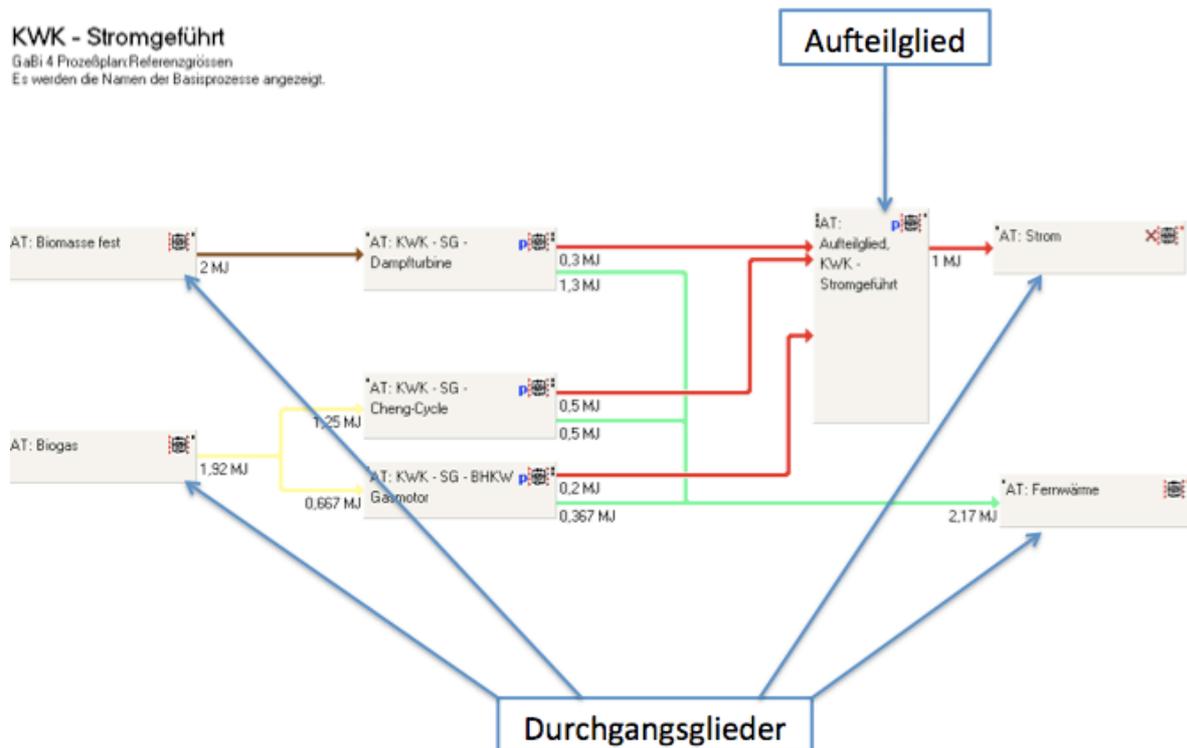


Abbildung 10: Darstellung von Aufteilglied und Durchgangsglied

Ausgleichsglieder

Ausgleichsglieder sind Prozesse, die sich dadurch auszeichnen, dass sie nur einen Input besitzen und nicht fixiert sind. Sie dienen dazu, den Output eines fixierten Prozesses mit dem Input eines ebenfalls fixierten Prozesses zu verbinden. Diese Verbindung wird erst dadurch möglich, dass der die beiden Prozesse verbindende Fluss ebenfalls mit einem weiteren nicht fixierten Prozess verbunden wird. Ein derartiger Prozess wird in diesem Modell Ausgleichsglied genannt.

Im Modell gibt es insgesamt vier Ausgleichsglieder die sich alle auf oberster Ebene befinden. Sie dienen dazu, die beiden fixierten Seiten des Modells (Bedarf und Bereitstellung) miteinander zu verbinden und deren Differenz auszuweisen. Die Basis für diesen Vergleich bilden vier Flüsse, die über die Ausgleichsglieder Bedarf und Bereitstellung verknüpfen. Sie verkörpern die Energieträgergruppen Strom, feste Biomasse, flüssige Biomasse und Biogas. In Abbildung 11 auf der folgenden Seite ist das Ausgleichsglied Strom dargestellt.

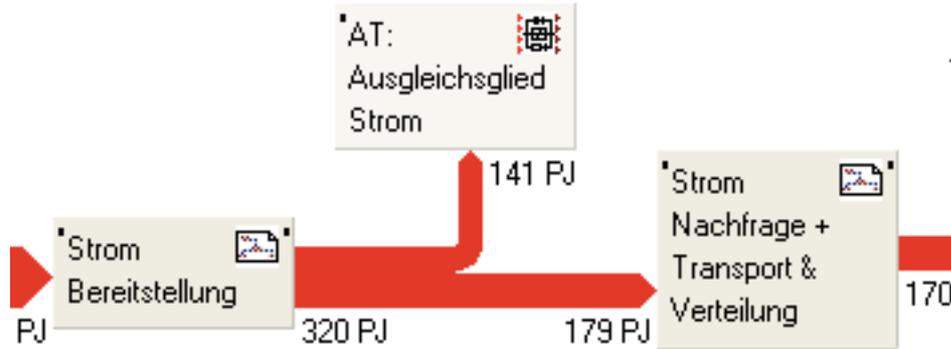


Abbildung 11: Darstellung des Ausgleichsgliedes Strom

4.1.3 Pläne als Prozesse und Technologie-Mix als spezieller Plan

Im Modell werden auf Plänen Prozesse über Flüsse miteinander verknüpft. Sie dienen damit zur Visualisierung und Modellierung von Energieflüssen in festgelegten Systemgrenzen. Der Energiefluss durch die gesamte Volkswirtschaft wird dabei auf einem Plan abgebildet, wobei die grundlegenden Umwandlungen in Blöcken zusammengefasst abgebildet sind. Hinter diesen Blöcken stehen tiefer liegende Prozesspläne, auf denen die Charakteristik des jeweiligen Bereichs detaillierter modelliert wird. Je genauer ein Bereich untersucht wird, desto mehr Prozesspläne liegen hinter diesen Blöcken. Dadurch entsteht eine Hierarchiestruktur, wobei alle Pläne im Modell direkt oder indirekt miteinander verknüpft sind.

In den Bereichen, in denen für die Bereitstellung der gleichen Nutzenergie unterschiedliche Technologien zur Verfügung stehen wird ein sogenannter Technologie-Mix verwendet. Dabei werden die jeweiligen Technologien auf dem gleichen Prozessplan nebeneinander positioniert und über ein Aufteilglied mit dem entsprechenden Energiebedarf verbunden. Über die Aufteilglieder ist es dabei möglich, den Einsatz der Technologien zu verändern. Im Bereich von Raumwärme und Warmwasser wird dabei ein Technologie-Mix mit den zur Bereitstellung möglichen Technologien erstellt und an den entsprechenden Stellen mit jeweils unterschiedlichen Anteilen der einzelnen Technologien eingefügt. Im Bereich der Mobilitätsbereitstellung gibt es für die verschiedenen Bedarfsgruppen je einen Technologie-Mix. Dazu zählen öffentliche und individuelle Verkehrsmittel im Personenverkehr bzw. Schienen- und Straßenverkehrsmittel im Güterverkehr. Jeder eingesetzte Technologie-Mix wird in den

Technologiebeschreibungen der entsprechenden Bedarfsbereiche, Kapitel 4.5.1.2 Seite 114 für Raumwärme und Kapitel 4.5.2.2 Seite 126 für Mobilität detailliert hinsichtlich modellierter Technologien und getroffener Einstellungen erklärt.

4.2 Verknüpfung der Modellbereiche

Die Bilanzierung von Bedarf und Bereitstellungspotential an erneuerbaren Energieträgern erfordert eine Gegenüberstellung der 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.

Zunächst wird auf die vertikale Verknüpfung der Bereiche in der obersten Modellebene eingegangen, um danach einen Überblick über die jeweilige Tiefe des Modells in den unterschiedlichen Bereichen zu geben.

4.2.1 Gegenüberstellung von Bedarf und Potentialen

Das Herzstück des Modells ist der in Abbildung 12 Seite 42 dargestellte Prozessplan „Energiesystem“. Er bildet den Energiefluss durch die gesamte Volkswirtschaft ab und verknüpft das aus den im Land vorhandenen Ressourcen bereitgestellte Potential an Energieträgern auf der einen mit dem Energieträgerbedarf im Land auf der anderen Seite.

Alle im Modell befindlichen Pläne sind mit diesem Plan direkt oder indirekt verknüpft. Er verkörpert die höchste Ebene des Modells und stellt die Umwandlung der Energie von der primären Form über daraus gebildete Energieträger hin zu den Bedarfsbereichen und die dortige Umwandlung in Nutzenergie dar.

Weiters werden sowohl am Anfang als auch am Ende der Energiebereitstellungsketten verschiedene assoziierte Größen ausgegeben. Es werden in den Bereichen wo dies sinnvoll ist, die für die bereitgestellten Energieträger notwendigen Flächen angegeben. Auf der anderen Seite werden in den detailliert modellierten Bedarfsbereichen die beheizten Flächen und die erbrachten Transportleistungen ausgegeben.

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 Motoren und Prozesswärme. Die in diesen Bereichen benötigten Energieträger werden auf diesem Prozessplan nachgefragt. Dazwischen liegen großtechnische Umwandlungen, die sich in kommunale Heizwerke, betrieblich wärmegeführte KWK und kommunale stromgeführte KWK unterteilen.

Entscheidend für die Modellierung ist die Wahl der Stelle in den Energiebereitstellungsketten, an der ein Vergleich zwischen Angebot und Nachfrage an Energie vollzogen wird. 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. Die beiden Seiten müssen in ihren Mengen fixiert werden und können dann miteinander verglichen werden. Zur Ausweisung der entstehenden Differenz werden die 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 zusammenge-

fasst, 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 Dicklaugewird 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.

4.2.2 Hierarchiestruktur

Die Hierarchiestruktur ergibt sich aus der tiefer liegenden Modellierung der einzelnen Modellbereiche. Einen Hinweis über die Detaillierung in den jeweiligen Bereichen gibt die Anzahl der darunter liegenden Ebenen. Durch die Konkurrenz mit nicht energetischen Nutzungsmöglichkeiten werden die Bereiche Land- und Forstwirtschaft auf der Bereitstellungsseite tief gehend untersucht. Auf der Bedarfsseite werden die Bereiche Raumwärme und Warmwasser und der Bereich Mobilität aufgrund der großen Einspar- bzw. Effizienzpotentiale detailliert modelliert.

In Tabelle 1 auf Seite 45 werden die im obersten Prozessplan als Prozesse eingesetzten Pläne mit Namen genannt und die Anzahl der dahinter liegenden Subebenen ausgewiesen, um einen Überblick über die Vertikalstruktur des Modells zu erlangen.

Tabelle 1: Anzahl der Subebenen in den jeweiligen Modellbereichen

Anzahl der Subebenen	
Bereitstellung	
Wasserkraft	1
Windkraft	1
Photovoltaik - Dach	1
Photovoltaik - Fassade	1
Photovoltaik - nachgeführt	1
Tiefe Geothermie	1
Biomasse landwirtschaftlich	3
Biomasse forstlich	2
Umwandlung	
Kommunale Heizwerke	1
Betriebliche KWK	1
Kommunale KWK	1
Bedarf	
Raumwärme und Warmwasser	4
Mobilität und Motoren	4
Prozesswärme	1
Stromanwendungen	1

Es sei hier darauf hingewiesen, dass die Anzahl der Subebenen nicht automatisch für die Tiefe der Modellierung entscheidend ist, sondern die auf den Subplänen modellierten Zusammenhänge geben den Ausschlag.

In den folgenden Kapiteln werden der genaue Aufbau und die gewählten Einstellungen aller im Modell vorhandenen Subebenen dokumentiert.

4.3 Bereitstellung von Energieträgern

In diesem Kapitel werden Möglichkeiten der Bereitstellung zur Bilanzierung herangezogener Energieträger aus erneuerbaren Quellen beschrieben. Es werden die Quellen und Bereitstellungsketten dieser Energieträger untersucht und modelliert. Folgende Bereiche werden auf der Bereitstellungsseite unterschieden: Windkraft, Wasserkraft, Photovoltaik (PV), Tiefe Geothermie, Landwirtschaft und Forstwirtschaft. Die Positionierung und Verknüpfung dieser Bereiche auf dem Prozessplan „Energiesystem“ im Modell ist in Abbildung 13 auf der nächsten Seite vergrößert dargestellt.

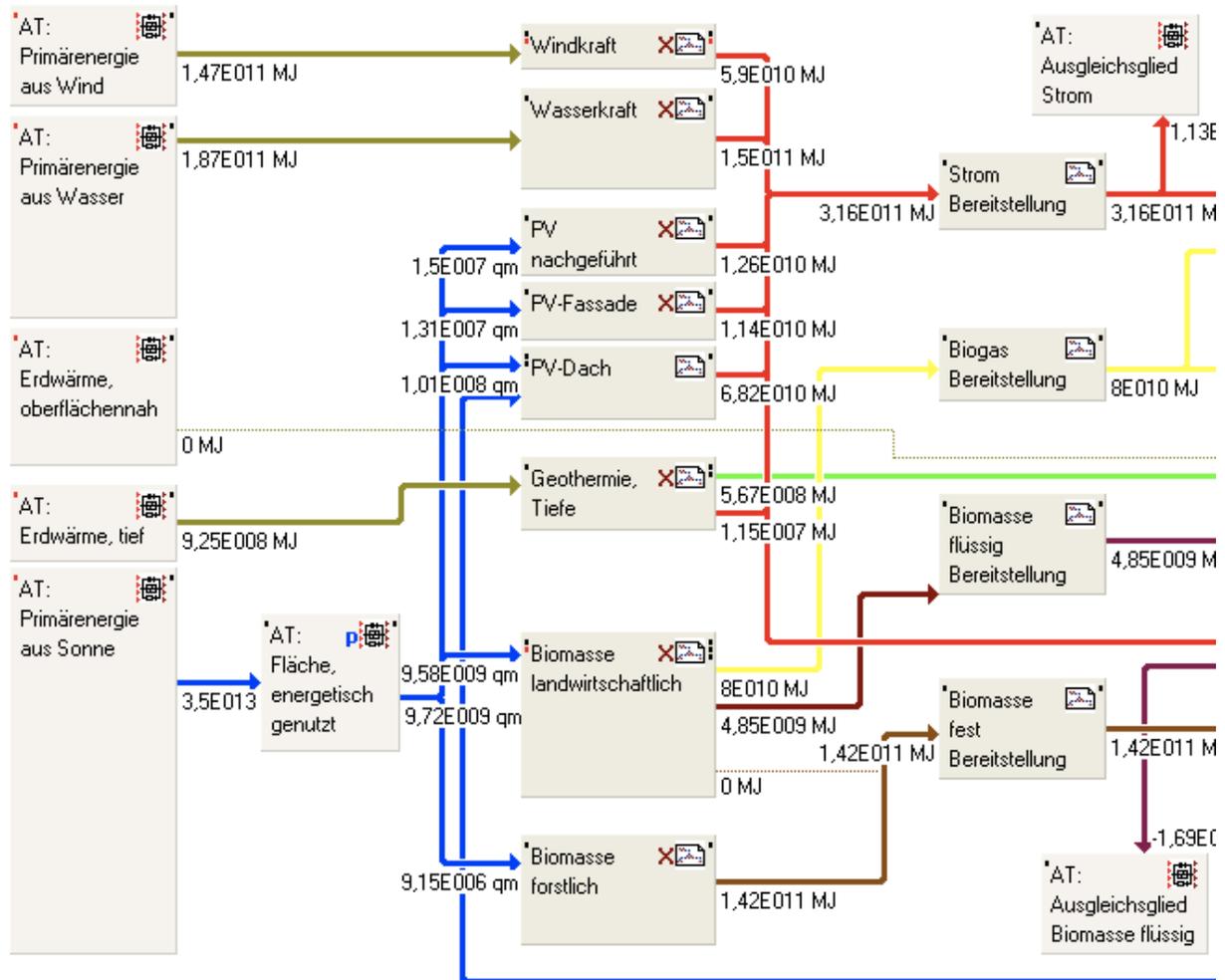


Abbildung 13: Ausschnitt aus dem Prozessplan „Energiesystem“, Bereitstellung von Energieträgern

Die Module der Bereitstellungsseite werden auf langfristig realisierbar scheinende Potentiale eingestellt, die auf der Untersuchung verschiedener Studien zu den Potentialen Österreichs und weiterführender Literatur in den einzelnen Bereichen basieren. Sie bestimmen die Grundeinstellung dieses Bereichs für die Szenarienanalyse.

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 balanzierten 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, die sich aus Abfällen der Volkswirtschaft ergeben, werden nur teilweise in dieser Untersuchung betrachtet. Grund dafür ist, dass es sich bei dem Modell um ein fiktives System handelt, das nur in gewissen Bereichen mit dem heute existenten in Verbindung zu bringen ist. Die dann zur Verfügung stehenden Abfallmengen müssten für jeden Bereich eigens untersucht werden. Dies ist im Bereich Holz erfolgt. Hier wird ein Teil der aus Holz produzierten Gebrauchsgegenstände energetisch genutzt und somit in der Modellierung berücksichtigt. Andere teilweise derzeit energetisch genutzte Abfälle, wie etwa Restmüll oder Klärschlamm werden nicht weiter berücksichtigt.

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.

4.3.1 Wasserkraft

Gewählte Gliederung dieses Bereichs

- Abgebildete Technologien: Speicherkraftwerk (< 10 MW und > 10 MW), Laufkraftwerk (< 10 MW und > 10 MW)
- Neubaupotential

Haupt-Datenquellen

(E-Control GmbH 2007)

Eingabedaten

- Existierender Kraftwerkspark:
 - Leistung [MW]
 - Ausnutzungsdauer [h]
 - Umwandlungswirkungsgrad [-]
 - Anteil sanierter Kraftwerke [-]
 - Leistungssteigerung durch Sanierung [-]
- Neubaupotential [GWh/a]

Prozesspläne in diesem Bereich

- „Wasserkraft“

Aufteilglieder

- keine

Die Nutzung der Wasserkraft zur Bereitstellung von Strom hat in Österreich durch die vorhandene Topographie lange Tradition und leistete im Jahr 2005 mit knapp 134 PJ einen Anteil von über 32 % der im Inland aufgebrauchten Energieträger bzw. etwa 50 % des gesamten Stromaufkommens (Mayer 2006).

Eine Erhöhung der Stromproduktion aus Wasserkraft ist prinzipiell einerseits durch eine Optimierung des bestehenden Kraftwerksparks und andererseits durch den Bau neuer Kraftwerke möglich. Dementsprechend wird in der Modellierung zwischen diesen beiden Optionen unterschieden.

Eine Aufstellung des im Jahr 2006 existenten Kraftwerksparks ist über die österreichische E-Control GmbH zugänglich. Diese bildet den Ausgangspunkt für die Modellierung des Gesamtpotentials der Wasserkraft im Land. Dabei wird sowohl zwischen Speicher- und Laufkraftwerken, als auch zwischen Groß- (>10 MW) und Kleinkraftwerken (<10 MW) unterschieden (s. Tabelle 2 auf der nächsten Seite).

Tabelle 2: Wasser-Kraftwerkspark Österreich 2006 (Quelle: (E-Control GmbH 2007))

Kraftwerkstyp	Anzahl	Leistung	Erzeugung	Ausnutzungs-Dauer	
		[MW]	[GWh]	[h]	
Laufkraftwerke	< 10 MW	533	732	3.298	4.506
	> 10 MW	87	4.449	22.607	5.081
Speicherkraftwerke	< 10 MW	38	149	434	2.912
	> 10 MW	59	6.305	10.740	1.703
Sonstige Kleinwasserkraftwerke	1.724	218	199	keine Angabe	
Summe Wasserkraftwerke	2.441	11.853	37.278	3.145	

Für jeden dieser Kraftwerkstypen werden Prozesse mit den Parametern Anzahl, Leistung und Ausnutzungsdauer erstellt. Um eine mögliche Optimierung dieser Kraftwerke zu simulieren

werden des weiteren ein Anteil an sanierten Kraftwerken und eine potentielle Leistungssteigerung durch Sanierung über Parameter in diese Prozesse implementiert, wobei das Produkt aus den beiden Werten das zusätzliche Potential durch Erneuerung je Kraftwerkstyp ergibt und zu den aus den anderen Parametern errechneten Werten für die Stromerzeugung addiert wird. Das gewinnbare Potential durch die Errichtung neuer Kraftwerke wird in einem eigenen Prozess abgebildet, und in diesem direkt angegeben.

Des weiteren ist in allen Prozessen ein Parameter implementiert, der den Gesamtwirkungsgrad der Anlagen widerspiegelt, um auf eine für die jeweilige Stromerzeugung notwendige Menge an Primärenergie, also potentielle Energie im Wasser, rückzurechnen. Dieser Wirkungsgrad kann je nach Anlagentyp, Alter des Kraftwerks und Lastbereich zwischen 50 und über 90 % liegen (Kaltschmitt 2006, 371). Für die Berechnungen wird dieser Wirkungsgrad für alle Anlagen mit 80 % angenommen.

Abbildung 14 zeigt den Prozessplan „Wasserkraft“, wobei in der Mitte die unterschiedlichen Kraftwerkstypen und das Neubaupotential dargestellt sind. Auf der linken Seite ist die benötigte Menge an Primärenergie (blau) und auf der rechten Seite die bereitgestellte Strommenge (rot) zu erkennen.

Wasserkraft

GaBi 4 Prozeßplan: Energie (unterer Heizwert) [MJ]
Es werden die Namen der Basisprozesse angezeigt.

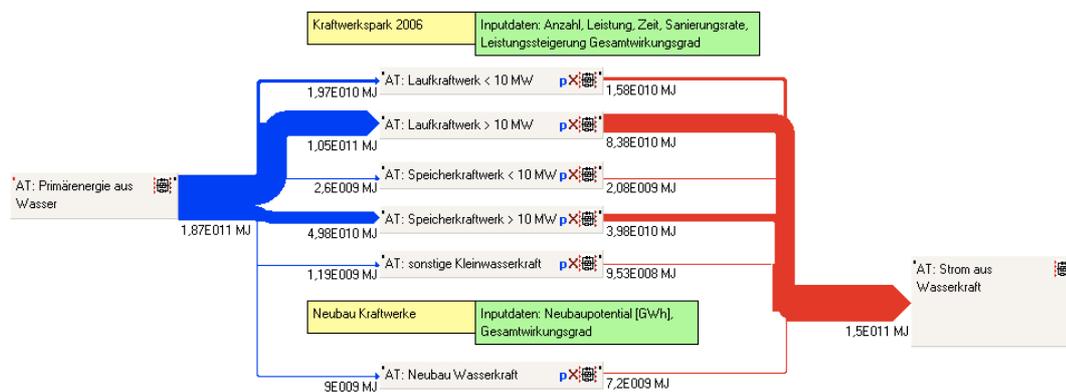


Abbildung 14: Prozessplan „Wasserkraft“

Um ein Wasserkraftpotential zu errechnen, müssen die Werte für Sanierung, also Anteil sanierter Kraftwerke und hervorgerufene Leistungssteigerung, und ein Neubaupotential eruiert werden. Anzumerken ist in diesem Zusammenhang, dass die Werte für die Ausnutzungsdauer der verschiedenen bereits bestehenden Kraftwerke als konstant angenommen werden.

Mögliche Auswirkungen eines sich verändernden Klimas und damit einhergehender Veränderungen der Niederschlagsmengen werden nicht berücksichtigt.

In dieser Untersuchung soll ein langfristiges Potential abgebildet werden, daher wird davon ausgegangen, dass alle im Jahr 2006 bestehenden Kraftwerke saniert sein werden. Die Leistungssteigerungen werden für Großkraftwerke mit 3% (Schwab 2008) und für Kleinkraftwerke mit 33% (Öhlinger, et al. 2009) angenommen.

Der in Österreich noch mögliche Neubau an Wasserkraftwerken ist aus derzeitiger Sicht schwer einzuschätzen. Eine von VEÖ, BMWA, E-Control, Kleinwasserkraft Österreich und VÖEW in Auftrag gegebene Studie zu den Potentialen der Wasserkraft in Österreich kommt Mitte des Jahres 2008 zu dem Ergebnis, dass das gesamte in Österreich verfügbare technisch-wirtschaftliche Stromerzeugungspotential aus Wasserkraft bei 56.100 GWh/a liegt. Bei Erzeugungswerten von etwa 38.000 GWh/a zum Zeitpunkt der Studie wird ein technisch-wirtschaftliches Restpotential von 17.900 GWh/a angegeben. Dieses wird unter Berücksichtigung von Potentialen in hochsensiblen Gebieten auf 12.800 GWh/a reduziert, wobei 1.500 GWh/a durch die Optimierung vorhandener Kraftwerke zu erreichen ist. Also sind laut dieser Studie rund 11.000 GWh/a an Strom durch den Neubau von Wasserkraftwerken langfristig zu erreichen, wobei die Auswirkungen der Umsetzung der Wasserrahmenrichtlinie (WRRL) unberücksichtigt blieben. (Pöyry 2008)

Da für diese Untersuchung keine Potentialstudie zur Verfügung stand, bei der die Auswirkungen der WRRL berücksichtigt wurden, werden die Potentiale durch Neubau von Kraftwerken hier nur mit 2000 GWh/a angenommen.

Bei den beschriebenen Annahmen ergibt sich ein Gesamtpotential aus Wasserkraft für Österreich von jährlich 150 PJ (s. Tabelle 3).

Tabelle 3: Derzeitige Nutzung der Wasserkraft und Potential bei beschriebenen Modelleinstellungen

Nutzung Wasserkraft im Jahr 2006:	133 PJ
Potential bei beschriebenen Einstellungen:	150 PJ

Da der Anteil des noch erschließbaren Potentials im Vergleich zu anderen Bereichen relativ gering ist wird auf eine Darstellung der für die Herstellung der Kraftwerke nötigen Energie verzichtet.

4.3.2 Windkraft

Gewählte Gliederung dieses Bereichs

- Abgebildete Technologien: Anlagen 2007 in Betrieb (durchschnittlich 1,92 MW pro Anlage), Neubau in den Leistungsklassen 2 MW, 3,5 MW und 6 MW
- Herstellungsenergie für die verschiedenen Technologien

Haupt-Datenquellen

(Hantsch & Moidl 2007), ECOINVENT

Eingabedaten

- Anlagenanzahl [Stk.]
- Leistungsklasse [MW/Stk.]
- Volllaststunden [h]
- Umwandlungswirkungsgrad [-]
- Faktor [-] zur Umrechnung der Herstellungsaufwendungen einer 800 kW-Anlage aus ECOINVENT auf die jeweilige Leistungsklasse

Prozesspläne in diesem Bereich

- „Windkraft“

Aufteilglieder

- keine

2007 gab es in Österreich 607 Anlagen zur Nutzbarmachung im Wind enthaltener Energie mit einer installierten Leistung von 965 MW. Bei hier durchschnittlichen 2.100 Volllaststunden jährlich entspricht dies einer Strombereitstellung von 2 TWh/a bzw. 7,3 PJ/a. (Hantsch & Moidl 2007)

Die Modellierung des Windkraftpotentials orientiert sich strukturell an einer Potentialstudie der IG Windkraft. Es erfolgt eine Einteilung der Anlagen in solche die 2007 bereits existierten und solche, die erst danach gebaut werden. Die Anlagen von 2007 besitzen eine

durchschnittliche Leistung von 1,92 MW. Es wird angenommen, dass durch den technologischen Fortschritt der Branche in Zukunft Anlagen der Leistungsklassen 2 MW, 3,5 MW und 6 MW zum Einsatz kommen. Dadurch kann die Stromproduktion stärker gesteigert werden als die dafür notwendigen Anlagenstandorte. Weiters wird damit gerechnet, dass 2007 bereits existente Anlagen schrittweise abgebaut und durch neue Anlagen höherer Leistungsklassen ersetzt werden. (Hantsch & Moidl 2007)

In der Modellierung wird für jede Leistungsklasse ein Prozess definiert, der für die neu zu bauenden Anlagen auch eine Verknüpfung mit den dafür notwendigen Herstellungsaufwendungen besitzt. Über eine Verteilung der in Zukunft als möglich erachteten Anzahl an Standorten auf die unterschiedlichen Leistungsklassen erfolgt eine Berechnung der jährlich zur Verfügung stehenden Strommenge. Über einen Wirkungsgrad wird auf eine dafür umgewandelte Menge an Primärenergie zurückgerechnet. Diese wird ebenfalls auf dem Prozessplan ausgewiesen. (vgl. Abbildung 15)

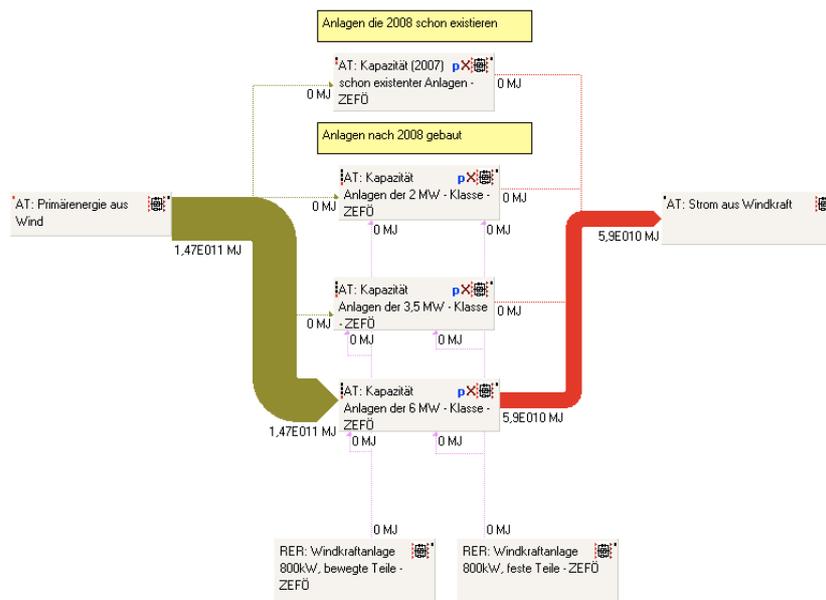


Abbildung 15: Prozessplan „Windkraft“

In der Studie der IG Windkraft wird davon ausgegangen, dass bis 2020 nahezu eine Verdoppelung der Standorte für Windkraftanlagen möglich ist. Knapp 1.100 Anlagen mit einer Gesamtleistung von etwa 3,5 GW werden als realistisch erachtet. In einem Workshop aus dem Projekt „ZEFÖ“ rechnen die Autoren dieser Studie für 2050 mit einem Potential von 9 GW. Nimmt man an, dass zu diesem Zeitpunkt die durchschnittliche Anlagenleistung 6 MW

sein wird, so sind dafür mindestens 1500 Anlagenstandorte notwendig. Für diese Untersuchung wird vorerst von 1300 realisierbaren Standorten ausgegangen, was bei einer durchschnittlichen Anlagenleistung von ebenfalls langfristig 6 MW eine gesamt installierte Leistung von 7,8 GW bedeuten würde (vgl. Tabelle 4).

Tabelle 4: Windkraftanlagen im Jahr 2007, Potential für 2020 und Potential langfristig (Quelle: (Hantsch & Moidl 2007) und eigene Annahmen)

Anlagentyp	Leistung [MW]	Existent 2007		Potential 2020		Potential langfristig	
		Anzahl [Stück]	Gesamt- Leistung [MW]	Anzahl [Stück]	Gesamt- Leistung [MW]	Anzahl [Stück]	Gesamt- Leistung [MW]
derzeitige	1,92	607	965	397	762	0	0
2 MW	2	0	0	180	360	0	0
3,5 MW	3,5	0	0	290	1015	0	0
6 MW	6	0	0	220	1320	1300	7800
	Summe:	607	965	1087	3457	1300	7800

Der Systemnutzungsgrad von Windkraftanlagen, also der Anteil an der im Wind enthaltenen Energie der zu Strom umgewandelt werden kann bewegt sich bei derzeitigen Anlagen zwischen 30 und 45 % und besitzt ein theoretisches Maximum von knapp 60 % (Kaltschmitt 2006, 310). Für die Berechnung der benötigten Primärenergie zur Bereitstellung des Stroms aus Windkraft im Modell wird ein durchschnittlicher Wirkungsgrad für alle Anlagen von 40 % unterstellt.

Herstellungenergie

Die Herstellungenergie für bewegte und feste Teile einer Windkraftanlage werden separat gerechnet, da die Lebensdauern unterschiedlich lange sind und mit der Anlagenleistung steigen. Die Prozessdaten der Herstellung werden aus der ECOINVENT Datenbank entnommen. Da in der Datenbank nur ein Herstellungsprozess für eine 800 kW – Anlage vorhanden ist, werden die energetischen Aufwendungen für größere Anlagen daraus abgeleitet. Mangels zuverlässiger Daten wird in dieser Arbeit keine Abhängigkeit der spezifischen Herstellungenergie von der Anlagengröße betrachtet.

Bei den beschriebenen Modelleinstellungen ergibt sich ein langfristiges Potential aus Windkraft von 59 PJ (vgl. Tabelle 5 Seite 54).

Tabelle 5: Derzeitige Nutzung der Windkraft und Potential bei beschriebenen Modelleinstellungen

Nutzung Windkraft im Jahr 2007:	7 PJ
Potential bei beschriebenen Einstellungen:	59 PJ

4.3.3 Photovoltaik

Gewählte Gliederung dieses Bereichs

- Standorte: Gebäudeintegrierte PV (BIPV¹²) auf Dächern, BIPV auf Fassaden, nachgeführte PV-Anlagen
- Abgebildete Technologien: Si-monokristallin, Si-multikristallin, Si-Ribbon-Verfahren, Si-amorph, CIS, CdTe, zukünftige Technologie
- Herstellungenergie für die verschiedenen Technologien

Haupt-Datenquellen

(Fechner, et al. 2007), (Jungbluth, et al. 2008), ECOINVENT

Eingabedaten

- Flächenpotentiale [km^2] (Dachflächen sind mit dem Gebäudestand verknüpft, Fassaden- und Flächen für nachgeführte PV-Anlagen werden direkt eingegeben)
- spezifische Leistung [W_p/m^2]
- Herstellungenergie [$\text{kWh}/\text{m}^2 \cdot \text{a}$]
- spezifischer Stromertrag [$\text{kWh}/\text{kW}_p \cdot \text{a}$]
- Ertragssteigerung durch Nachführung [-]

Prozesspläne in diesem Bereich

- „PV-Dach“, „PV-Fassade“, „PV-Nachgeführt“

¹² BIPV Building Integrated PV

Aufteilglieder

- Drei Aufteilglieder zur Verteilung der Flächenpotentiale an den unterschiedlichen Standorten an die verschiedenen Technologien

Der Photovoltaik (PV) als Technologie zur Erzeugung des Energieträgers Strom aus Sonnenenergie werden weltweit große Perspektiven zugeschrieben. Gründe dafür liegen in den vorhergesagten möglichen Wirkungsgradsteigerungen und der absehbaren Kostendegression von PV-Anlagen. (Fechner, et al. 2007)

Im Jahr 2005 waren in Österreich 24 MW_p PV-Anlagen installiert. Bei in Österreich durchschnittlichen Stromertragswerten entspricht das etwa 17 GWh/a bzw. 0,06 PJ/a. Rund 88 % der installierten Leistung war an das Stromnetz angebunden. Gemessen an der Verteilung verschiedener PV Technologien dominieren seit 2007 polykristalline Siliziumzellen, gefolgt von monokristallinen und amorphen. Neuere Technologien wie CIS- und CdTe-Zellen sind heutzutage kaum vertreten.(Biermayr, et al. 2008)

Die PV besitzt in ihrer Anwendung verschiedene Vorteile gegenüber anderen Technologien der Energiebereitstellung, die für eine zukünftig stärkere Verbreitung dieser jungen Technologie sprechen, wenn für die damit einhergehenden Herausforderungen wie solare Angebotsschwankungen und schlechte Wirkungsgrade Lösungen gefunden und sich die Kosten durch Verbreitung der Technologie gesenkt haben werden. Das heutzutage am stärksten eingesetzte chemische Element zur Produktion von PV-Zellen ist Silizium und dieses zählt zu den häufigsten Elementen auf der Erde. Eine Rohstoffknappheit ist in dieser Hinsicht derzeit also nicht ersichtlich. Ein Einsatz von PV unabhängig vom Stromnetz ist ebenfalls bei verschiedenen Anwendungen von Vorteil. Derartige Anlagen werden in dieser Arbeit nicht gesondert betrachtet, da diese in der Energiebilanz als Verbraucher nicht eindeutig ausgewiesen sind. Eine Senkung des Endenergiebedarfs derartiger Verbraucher durch einen Umstieg von fossil betriebenen Generatoren auf PV wird derzeit vernachlässigt.

Eine der stärksten Eigenschaften der PV ist aber deren Einsetzbarkeit auf vielen Flächen, die kaum in anderer Weise genutzt werden (können). Solche Flächen befinden sich in Siedlungsgebieten oder deren unmittelbarer Umgebung, wodurch eine Strombereitstellung in der Nähe des Verbrauchs gewährleistet ist. Schafft man es zukünftig, eine bedeutende Zwischenspeicherung des Stroms in Siedlungen zur Überbrückung der zeitlichen Verschiebung

zwischen Angebot und Nachfrage zu ermöglichen, wie dies beispielsweise durch verbreiteten Einsatz elektrisch betriebener Fahrzeuge möglich scheint, so könnte die PV eine wichtige Stütze für die Energieversorgung verdichteter Siedlungsformen werden.

Auf den angesprochenen Flächen, die sich vor allem auf Gebäuden und sonstigen infrastrukturellen Bauwerken befinden, stellt einzig die ebenfalls zur Energiebereitstellung eingesetzte Solarthermie (ST) eine Konkurrenz dar. Zu bemerken ist in diesem Zusammenhang, dass die Installation einer ST-Anlage auf den angesprochenen Flächen nur dann Sinn macht, wenn sich ein potentieller Wärmeabnehmer in der direkten Umgebung der Anlage befindet.

Neben gebäudeintegrierter PV ist zu überlegen, ob man Flächen die auch in anderer Weise genutzt werden können zukünftig der PV widmet. Um den energetischen Nutzen derartiger PV-Anlagen untersuchbar zu machen wird ein Modul für nachgeführte PV auf solchen Flächen in das Modell integriert.

Für die Modellierung werden drei Prozesspläne in der PV unterschieden: „PV-Dach“, „PV-Fassade“ und „PV-Nachgeführt“. Der Grund für diese Trennung liegt in den unterschiedlichen solaren Ausbeuten an diesen Orten bzw. bei verschiedenen Montagearten. Auch die zugrunde liegenden potentiell nutzbaren Flächen unterscheiden sich grundsätzlich. Die verfügbare Gebäudefläche orientiert sich an der Anzahl vorhandener Gebäude. Nachgeführte PV-Anlagen, die sich erst ab einer bestimmten Modulleistung (energetisch) rentieren, werden daher meist in größeren Anlagenparks realisiert und stehen dadurch in Konkurrenz zu anderen Flächennutzungen wie Land- und Forstwirtschaft, aber auch zu infrastrukturellem Platzbedarf.

Da prinzipiell die gleichen Technologien an diesen Orten zur Verfügung stehen unterscheiden sich die Prozesspläne nur durch spezifische Ertragswerte und den zur Verfügung gestellten Flächen. Abbildung 16 Seite 57 zeigt beispielhaft den Prozessplan „PV-Dach“.

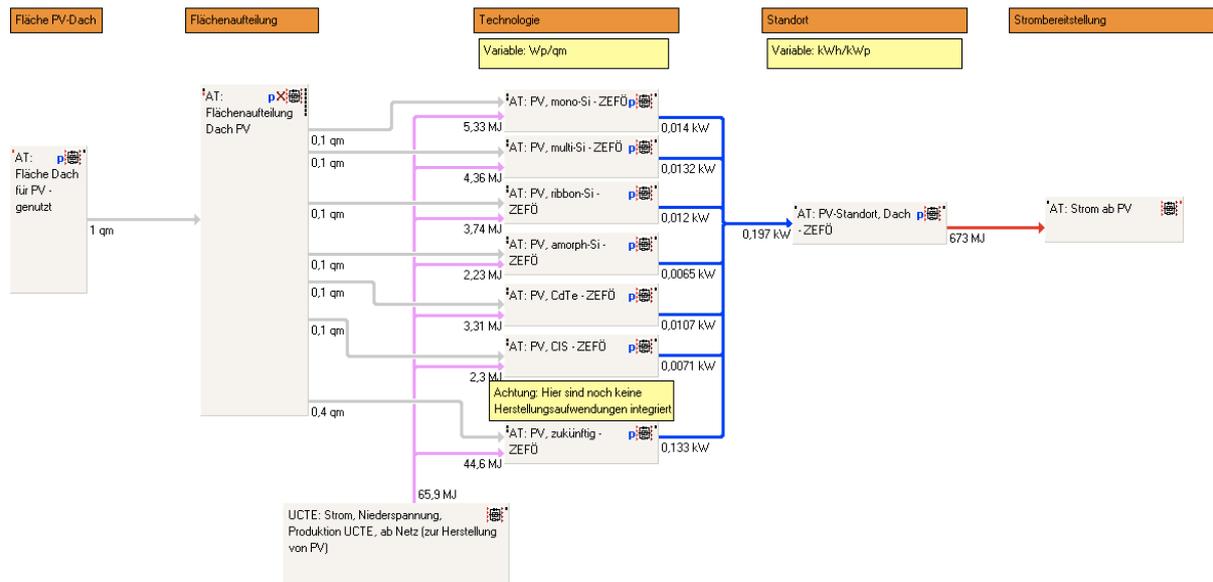


Abbildung 16: Prozessplan „PV Dach“

Betrachtet man den Prozessplan entsprechend der Flussrichtung von links nach rechts so wird zunächst die zur Verfügung stehende Fläche an ein Aufteilglied weitergegeben, welches diese auf die unterschiedlichen Technologieprozesse verteilt. Die Technologieprozesse enthalten Werte über die spezifische Leistung pro Fläche (gemessen in W_p/m^2) und den energetischen Herstellungsaufwand für die unterschiedlichen Technologien. Über den spezifischen jährlichen Stromertrag pro installiertem kW_p (entspricht den Volllaststunden) abhängig vom jeweiligen Standort wird daraus der jährliche Stromertrag berechnet. In der Darstellung unten links ist der Prozess abgebildet, der die Herstellungsenergien für die installierten PV-Module bereitstellt bzw. ausweist.

PV-Technologien (spezifische Leistung und Herstellungsenergie)

Durch intensive Forschung auf dem Gebiet der PV hat man in den letzten Jahrzehnten verschiedene Zellentypen zur Umwandlung von Sonnenstrahlung in elektrische Energie entwickelt. Diese unterscheiden sich v. a. durch die verwendeten Materialien, die Dicke der Zellen und den Herstellungsprozess, aber auch durch deren Wirkungsgrade. (Kaltschmitt 2006)

Für die Modellierung werden sieben verschiedene PV-Zellentypen unterschieden: Amorphe, mono- und multikristalline Si-Zellen, mittels Ribbon-Verfahren hergestellte Si-Zellen, CdTe- und CIS-Zellen und eine als zukünftig erwartete PV-Zelle, die deutlich höhere Wirkungsgrade gewährleistet. Die Technologie-Roadmap für PV in Österreich rechnet mit einer Erhöhung der Gesamtwirkungsgrade bis 2030 auf etwa 33 %. Dies entspricht einem Flächenbedarf von 3 m²/kW_p (vgl. Tabelle 6, Seite 58).

Tabelle 6: Eigenschaften der in das Modell implementierten PV-Technologien (Quelle: Eigene Berechnungen auf Basis(Jungbluth, et al. 2008) &(Fechner, et al. 2007))

Technologie	spezifische Leistung	spezifische Produktionsenergie	
	[W _p /m ²]	[kWh/m ² *a]	[kWh/kW _p *a]
Si-monokristallin	140	14,8	105
Si-multikristallin	132	12,1	92
Si-Ribbon-Verfahren	120	10,4	86
Si-amorph	65	6,2	96
CdTe	107	9,2	86
CIS	71	6,4	90
Zukünftig	333	31,0	93

In der Tabelle sind die spezifische Leistung und die spezifische jährliche Herstellungsenergie für die gewählten Technologien aufgelistet. Da keine aktuellen Werte zur Herstellung einer zukünftigen Solarzelle vorhanden sind wird ein durchschnittlicher leistungsspezifischer Herstellungsaufwand angenommen. Bei Analyse der flächenspezifischen Produktionsenergie vorhandener PV-Zellentypen zeigt sich nämlich, dass diese proportional der flächenspezifischen Leistung ansteigt. Eine genauere Untersuchung der PV Herstellungstechnologien und den damit einhergehenden Rahmenbedingungen der energetischen Produktionsaufwendungen wurde in dieser Arbeit nicht durchgeführt. Es wird daher vorerst angenommen, dass eine Entkopplung dieses Zusammenhanges nicht erfolgen wird.

Die Aufteilung der jeweils zur Verfügung stehenden Fläche auf die Technologien erfolgt bei allen Standorten zu folgenden Anteilen: 40 % der Flächen werden mit „zukünftiger“ Technologie bestückt. Auf die restlichen Technologien fallen jeweils 10 %. Durch den schlechteren Wirkungsgrad wird angenommen, dass diese längerfristig zurückgedrängt werden.

Standort bzw. Montageart (zur Verfügung stehende Flächen und spezifische Stromerträge)

In der Modellierung werden drei Ertragskategorien für PV-Anlagen unterschieden: Dachflächen, Fassadenflächen und Flächen für nachgeführte Anlagen. Für diese Kategorien stehen jeweils verschiedene Flächen zur Verfügung bzw. hat die unterschiedliche Ausrichtung der Solarmodule gegenüber der Sonneneinstrahlung verschiedene Energieerträge zur Folge.

Die für PV zur Verfügung stehenden Dachflächen werden durch eine Verknüpfung mit den im Betrachtungsraum vorhandenen Gebäuden ermittelt. Über Nutzbarkeitsfaktoren und Aufteilglieder zwischen PV und ST wird die gesamt für PV zur Verfügung stehende Dachfläche in den Prozessplan „PV Dach“ übertragen.¹³ Auf dem Plan kann diese Dachfläche dann über einen weiteren Nutzungsfaktor, der den Anteil der genutzten Flächen an den für PV zur Verfügung stehenden Flächen verkörpert, nochmals reduziert werden. In den Grundeinstellungen wird dieser mit 75 % angenommen (vgl. Fechner, et al. 2007).

Für die in Österreich zur Verfügung stehenden Fassadenflächen wird auf eine Potentialabschätzung der IEA (IEA 2002) zurückgegriffen, da eine Abschätzung der potentiell energetisch nutzbaren Fassadenflächen durch den Einfluss optischer Gesichtspunkte und die verstärkten und ungleichmäßigeren Abschattungseffekte schwieriger ist. In der angesprochenen Studie wird das langfristig für PV vorhandene Potential an Fassadenflächen in Österreich mit 52,36 km² angegeben. Auch auf diesen Flächen wird nicht damit gerechnet, dass alle potentiell energetisch in Frage kommenden Flächen auch tatsächlich genutzt werden. Daher wird hier ebenfalls mit einem Nutzungsfaktor gerechnet, der derzeit auf 25 % eingestellt ist (vgl. Fechner, et al. 2007).

Für die Errichtung nachgeführter PV-Anlagen wird in einem ersten Ansatz angenommen, dass zumindest 1500 ha an derzeitigen Stilllegungsflächen langfristig zur Verfügung stehen können.

Die flächenspezifischen Stromerträge der unterschiedlichen betrachteten Anlagenstandorte und Montagearten unterscheiden sich deutlich. Für PV-Anlagen auf Dächern können in Österreich durchschnittlich 950 kWh/kW_p*a, für fassadenintegrierte Anlagen 650 kWh/kW_p*a

¹³ Eine Darstellung der Berechnung der „potentiell energetisch nutzbaren“ Dachflächen erfolgt in Kapitel 4.5.1.1, S.109

gerechnet werden. (Fechner, et al. 2007, 40) Die Nachführung einer PV-Anlage bewirkt i. d. R. Ertragssteigerungen zwischen 20 und 30 % (Haas, et al. 2006, 86). Für die Modellierung wird der Jahresenergieertrag von PV-Anlagen, die sich auf Dächern befinden noch um 25 % auf 1188 kWh/kW_p*a für nachgeführte Anlagen erhöht.

Bei den beschriebenen Einstellungen ergeben sich langfristig Potentiale von 70,3 PJ auf Dachflächen, 11,4 PJ auf Fassadenflächen und 12,6 PJ aus nachgeführten PV-Anlagen. In Summe 94,3 PJ (s. Tabelle 7).

Tabelle 7: Derzeitige Nutzung der PV und Potential bei beschriebenen Modelleinstellungen

Nutzung PV im Jahr 2005:	0,06 PJ
Potential bei beschriebenen Einstellungen:	94,3 PJ

4.3.4 Tiefe Geothermie

Gewählte Gliederung dieses Bereichs

Thermisch und elektrisch genutzte Erdwärme aus tieferen Schichten

Haupt-Datenquellen

(Götzl 2008), (Gerstl 2008)

Eingabedaten

- Strombereitstellung aus Geothermie [MWh/a]
- Wirkungsgrad elektrisch [-]
- Wärmebereitstellung aus Geothermie [MWh/a]
- Wirkungsgrad thermisch [-]

Prozesspläne in diesem Bereich

- „Geothermie-Tiefe“

Aufteilglieder

- keine

Als Abgrenzung zwischen der Nutzung tiefer Erdwärme und der oberflächennahen Geothermie wird in verschiedenen Richtlinien eine Tiefe von 400 m festgelegt. Diese ist allerdings willkürlich und beruht darauf, dass es lange Zeit keine Anlagen mit Tiefen zwischen 200 und 500 m gab (Kaltschmitt 2006, 396). In diesem Kapitel werden Anlagen zur großtechnischen Nutzung von in der Erde gespeicherter Wärme behandelt. Sie zeichnen sich i. Allg. dadurch aus, dass die vorhandenen Temperaturen höher sind, als bei oberflächennahen Nutzungen, die dadurch mit im Verhältnis kleineren Anlagen durchgeführt werden. Solche Wärmepumpen werden in Kapitel 4.5.1.2 auf Seite 114 behandelt, da diese mit den am jeweiligen Ort benötigten Wärmemengen direkt verbunden werden.

Derzeit sind in Österreich Anlagen mit einer Leistung von etwa 60 MW thermisch und 1 MW elektrisch in Betrieb (Gerstl 2008). Ein Großteil davon befindet sich in Oberösterreich mit 43,2 MW thermisch und knapp 0,35 MW elektrisch. Die thermischen Anlagen Oberösterreichs stellen etwa 125 GWh/a Wärme bereit. (Geoteam 2007, 9) Das entspricht durchschnittlich 2911 Volllaststunden jährlich. Umgerechnet auf alle thermischen Anlagen in Österreich bringt das etwa 175 GWh/a Wärme. Zur geothermischen Strombereitstellung existierten im Jahr 2004 Anlagen mit einer Gesamtleistung von 1,2 MW und lieferten 3,2 GWh/a. (Goldbrunner 2005) Durchschnittlich ergibt das 2667 Volllaststunden pro Jahr.

Der hydrothermale Nutzungsgrad Österreichs, also der genutzte Anteil vorhandener Erdwärmquellen wird mit 10 bis 20 % angegeben. Das bedeutet, dass nach derzeitigem Wissen gesamt zwischen 300 und 600 MW geothermische Anlagen realisierbar sein müssten, wobei es sich dabei um die bisher bekannten Ressourcen in 1.500 bis 2.000 m Tiefe handelt, die unter derzeitigen Bedingungen wirtschaftlich nutzbar sind. Prinzipiell könnte mit unter der österreichischen Erde vorhandener Wärme das ganze Land thermisch versorgt werden (Götzl 2008). Die hohen Kosten der Geothermie beschränken dieses Potential derzeit allerdings deutlich und es ist noch nicht ersichtlich, wie groß der Anteil dieser Wärmquellen an einer zukünftigen Wärme- und Stromversorgung sein wird. (Gerstl 2008)

Um genauere Angaben über die in Österreich vorhandenen nutzbaren geothermischen Wärmemengen machen zu können, werden derzeit in dem Projekt „THERMTEC“, geleitet von Mag. Götzl der Geologischen Bundesanstalt (GBA) die Wärmestromdichten im inneralpinen Raum Österreichs erhoben, über den noch kaum Daten vorhanden sind. Voraussichtliches Projektende ist das Jahr 2012.

In einem ersten Ansatz wird für die Modellierung von den Schätzungen von Mag. Götzl ausgegangen, die zwischen 300 und 600 MW liegen. Es wird der Mittelwert der Abschätzung für die weitere Betrachtung herangezogen. Die Potentiale zur Strombereitstellung werden mit 6 MW, die (Goldbrunner 2005) für das Jahr 2010 angibt, übernommen und der Rest auf 450 MW wird für die Bereitstellung von Fernwärme modelliert. Daraus ergeben sich 15 GWh/a Strom und knapp 1300 GWh/a Wärme.

Zu bemerken ist in diesem Zusammenhang, dass derzeit in den Abschätzungen nicht berücksichtigt ist, dass nicht mehrere Anlagen in direkter Umgebung arbeiten können, da sie sich gegenseitig die Wärme entziehen würden. Ein Mindestabstand von etwa 5 km ist einzuhalten. (Götzl 2008) Auch die Nutzbarkeit der anfallenden Wärme in Fernwärmenetzen ist für eine Umsetzung in die Realität noch zu klären.

Die Stromerzeugung aus geothermischen Quellen erfolgt mit einem durchschnittlichen Wirkungsgrad von etwa 10 % (Kaltschmitt 2006, 527). Der durchschnittliche Wirkungsgrad von Anlagen zur Wärmebereitstellung aus diesen Quellen wird mit 80 % angenommen. Mit diesen Wirkungsgraden wird die bereitgestellte Energiemenge auf eine dafür benötigte Menge an Primärenergie zurückgerechnet.

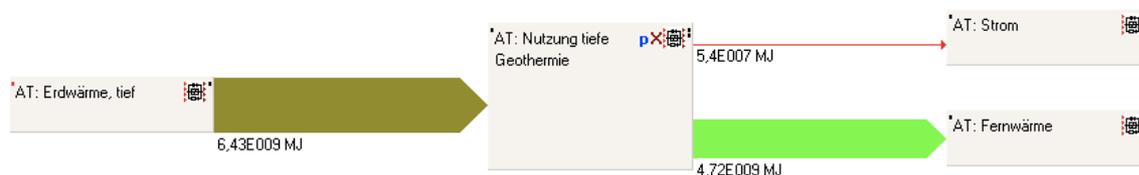


Abbildung 17: Prozessplan „Geothermie, Tiefe“

Eine Gegenüberstellung der derzeitigen Nutzung und der Potentiale tiefer Geothermie in Österreich bei den beschriebenen Einstellungen zeigt Tabelle 8.

Tabelle 8: Derzeitige Nutzung tiefer Geothermie und Potential bei beschriebenen Modelleinstellungen

Nutzung Geothermie (tief) im Jahr 2005:	
Strom	0,01 PJ
Wärme	0,63 PJ
Potential bei beschriebenen Einstellungen:	
Strom	0,05 PJ
Wärme (Fernwärme)	4,65 PJ

4.3.5 Bereitstellung von Biomasse als Energieträger

Die organisierte Bereitstellung von Biomasse erfolgt zum Großteil in den Wirtschaftszweigen Land- und Forstwirtschaft. Diese wurden getrennt voneinander modelliert.

Österreichs Staatsfläche beträgt 8,39 Mio. ha. Davon waren im Jahr 2006 knapp 3,24 Mio. ha landwirtschaftlich genutzt, gut 3,31 Mio. ha forstwirtschaftlich genutzt und etwa 1 Mio. ha unproduktive Flächen der Land- und Forstwirtschaft. In Summe 7,54 Mio. ha.

4.3.5.1 Biomasse aus der Landwirtschaft

Die landwirtschaftlich genutzten Flächen werden in Dauergrünland, Ackerland, Dauerkulturen und Haus- und Nutzgärten unterteilt. Im Jahr 2006 waren von den gesamt 3,24 Mio. ha landwirtschaftlich genutzten Flächen 55 % Grünland und 43 % Ackerland (Statistik Austria 2008 B). Flächen von Haus- und Nutzgärten und Dauerkulturen (Obstanlagen, Weingärten, Reb-, Baum- und Forstbaumschulen) und ein sich eventuell daraus ergebendes Energieträgerpotential wird in der Modellierung derzeit nicht weiter berücksichtigt. Des Weiteren werden Ackerland und Grünland separat behandelt, da sich die darauf kultivierten Pflanzen grundsätzlich unterscheiden.

In der Modellierung der Landwirtschaft wird davon ausgegangen, dass die heutige Versorgung mit Lebensmitteln, Futtermitteln und Rohstoffen zur stofflichen Weiterverarbeitung aufrechterhalten wird. Es wird auf Basis der Inlandsverwendung (IV) an tierischen und pflanzlichen Produkten und den Selbstversorgungsgraden (SVG) der jeweiligen Produkte modelliert. In der IV ist der Bedarf für Nahrungs- und Futterzwecke, für die industrielle Verarbeitung (inklusive Energieträgerbereitstellung) sowie Verluste enthalten (BMLFUW 2008 C, 28).

Grünland und Ackerland werden auf eigenen Plänen detailliert modelliert und die sich daraus ergebenden Energieträgerpotentiale werden auf einen darüber liegenden Plan transferiert. Im Sinne der Gesamtkonzeption und Übersichtlichkeit wurde die funktionale Verknüpfung der Futtermittel auf den Ackerflächen mit der Anzahl der Tiere, die im Rahmen des Grünlan-

des modelliert wurden, vermieden, da dafür ein Ausgleichsglied auf unterer Modellebene notwendig gewesen wäre.

Die Aufbereitung des aus der Landwirtschaft stammenden Biogases erfolgt auf dem Plan, der die Energieträgererträge von Grün- und Ackerland zusammenfasst (vgl. Abbildung 18). Die Gasreinigung wird deshalb modelliert, da in weiterer Folge das Biogas hauptsächlich in Fahrzeugen genutzt bzw. über ein Gasnetz verteilt werden soll und dafür eine Gasreinigung notwendig ist (Kaltschmitt 2001, 677).

In der Modellierung wird ein kombinierter Prozess mit Durchschnittswerten verschiedener Verfahren zur Gasreinigung abgebildet. Für die chemische Absorption wird ein theoretischer spezifischer Energiebedarf von 1,95 MJ/kg CO₂ und für die physikalische Absorption von 0,1 MJ/kg CO₂ angegeben (Raussen, et al. 2008). Für den Durchschnittsprozess wird von 2 MJ/kg CO₂ ausgegangen. Bei einer mittleren Zusammensetzung des Biogases von 65 Vol% CH₄ und 35 Vol% CO₂ ergibt sich, wenn die Energie aus dem Biogas selbst bereitgestellt wird, ein Energieverlust des Gases von etwa 0,05 %. Daten für die Emissionen des angenommenen Gasmotors werden aus der ECOINVENT Datenbank entnommen.

Flächenverteilung Landwirtschaft

GaBi 4 Prozeßplan: Energie (unterer Heizwert) [MJ]
Es werden die Namen der Basisprozesse angezeigt.

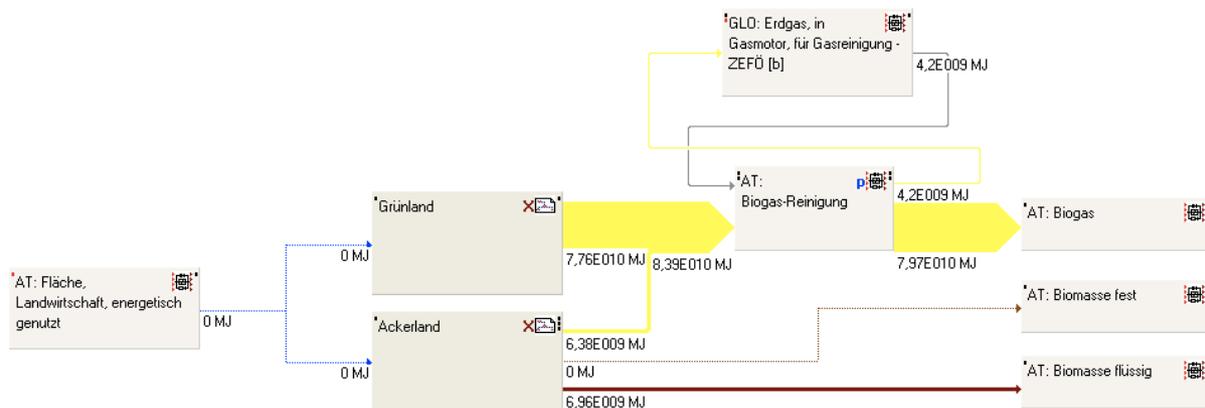


Abbildung 18: Prozessplan „Biomasse, landwirtschaftlich“

4.3.5.1.1 Grünland

Gewählte Gliederung dieses Bereichs

- Flächen: Extensives Grünland, Wirtschaftsgrünland

- Tierhaltung: Produktion der Lebensmittel Eier, Milch und Fleisch (Geflügel, Rind & Kalb, Schwein)
- Energetische Grünlandnutzung über Biogas aus Grassilage

Haupt-Datenquellen

Versorgungsbilanzen aus (BMLFUW 2008 C), (FNR 2006), (Buchgraber 2007), (Simon 2006), (EG 1991), (Statistik Austria 2007), (Statistik Austria 2008 B)

Eingabedaten

- Flächen: Flächen extensives bzw. Wirtschaftsgrünland
- Lebensmittelbedarf: Inlandsverwendung (IV) in [Stk] (Eier) bzw. in [t] (Fleisch und Milch), Selbstversorgungsgrad (SVG) [-]
- Flächenbesatz Tiere [Stk/ha]
- Lebensmittelproduktion [kg/Stk*a] bzw. [Stk/Stk*a]
- Mastdauern [a]
- Gasertrag bei Tieren [kWh/Stk.*a]
- Gasertrag bei Grassilage [kWh/ha*a]
- nutzbarer Anteil vom Gasertrag bei Tieren [-]
- nutzbarer Anteil vom Gras für die Grassilage [-]

Prozesspläne in diesem Bereich

- „Grünland“

Aufteilglieder

- keine

Das Grünland kann durch die vorherrschende Nutzungsart in intensives und extensives Grünland unterteilt werden. Im Jahr 2006 wurden etwa 908.000 ha intensiv und 882.000 ha extensiv genutzt.(Statistik Austria 2008 B)

Flächen für tierische Produktion werden aus den in Österreich benötigten Mengen tierischer Produkte berechnet. Für die Modellierung werden diese beiden Flächenarten zwar getrennt

eingetragen, die für die tierische Produktion benötigten Flächen werden aber nicht direkt dem intensiven oder extensiven Grünland zugewiesen. Grund ist, dass bei stark forcierter Produktion tierischer Lebensmittel, das extensive bzw. intensive Grünland alleine nicht ausreichen würde (vgl. Abbildung 19).

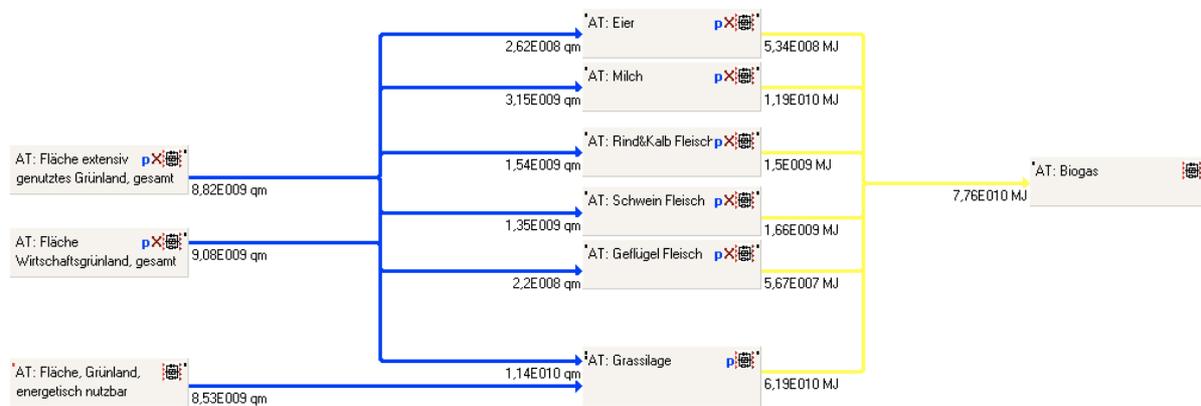


Abbildung 19: Prozessplan „Grünland“

Nicht für die tierische Produktion benötigte Grünlandflächen werden, reduziert um einen Nutzungsfaktor, zur Energiebereitstellung herangezogen. Im derzeitigen Modellansatz wird aus den Graserträgen Biogas erzeugt.

Die in der Tierhaltung anfallenden Exkremente werden zum Teil für die Biogasbereitstellung herangezogen abhängig davon welche Haltungsform unterstellt wird.

Die für die tierische Produktion benötigten Grünlandflächen werden ausgehend von den Versorgungsbilanzen tierischer Produkte in folgender Weise modelliert: Mittels IV und SVG (BMLFUW 2008 C) werden die in Österreich produzierten Mengen errechnet. Über Mastdauern und spezifische Erträge verschiedener tierischer Produkte wird die dafür jährlich benötigte Anzahl der unterschiedlichen Tiere erhalten. Ein Bezug zur dafür benötigten Fläche entsteht über den in einer Verordnung des Europäischen Rates über den ökologischen Landbau angegebenen Flächenbesatz, aufgeschlüsselt nach Tierart und Zielprodukt. (EG 1991) Die beschriebenen Daten sind in Tabelle 9 auf der folgenden Seite zusammengestellt.

Tabelle 9: Tierhaltung auf dem Grünland (Quellen: eigene Berechnungen v. a. auf Basis (BMLFUW 2008 C),(EG 1991), (Statistik Austria 2007))

Tierhaltung	Flächenbesatz	Erzeugung	IV	SVG	Mastdauer
	[Stk/ha]	[kg/Stk]	[t/a]	[%]	[a]
Rind & Kalb	4	339	150.596	146	1,0
Schwein	14	100	470.738	100	0,4
Geflügel	580	1,7	154.912	70	0,2
		[kg/Stk*a]			
Milch	2	5.000	3.146.657	100	-
		[Stk/Stk*a]	[1000 Stk/a]		
Eier	230	250	2.032.941	74	-

Die spezifischen Erträge und entsprechenden Mastdauern stammen aus einem Schnellbericht über durchschnittliche Lebend- und Schlachtgewichte der Statistik Austria (Statistik Austria 2007) bzw. wurden aus verschiedenen Quellen für ökologischen Landbau gemittelt. Hier wurde vor allem mit folgenden Quellen gearbeitet: (Freyer 2008), (Hörnig, et al. 2004), (Hirschfeld, et al. 2008).

Zu bemerken ist im Bezug auf die Versorgungsbilanzen tierischer Produkte, dass sich diese auf den Zeitraum eines Kalenderjahres beziehen. Die Versorgungsbilanzen pflanzlicher Produkte beziehen sich nicht auf diesen Zeitraum¹⁴. (BMLFUW 2008 C, 28)

Es ergibt sich mit diesen Zahlen ein gesamter Flächenbedarf an Grünland für die tierische Produktion von etwa 650.000 ha, wobei sich Österreich mit tierischen Produkten relativ gut selbst versorgen kann, ersichtlich an den SVG. Die für die Tierhaltung angenommenen Daten stellen die Werte ökologischer Landwirtschaft dar, in der Praxis könnte man dies durch extensive Tierhaltung erreichen. Langfristig ist dies für die Steigerung der Fleischqualität von Vorteil. Durch die Nutzung dieser Flächen wird einer Verwilderung und in weiterer Folge Verwaldung entgegengewirkt.

Aus der Tiefe des Modellansatzes ergibt sich, dass Hennen, die Eier legen und am Ende ihres Lebens als Suppenhühner dienen, doppelt gezählt werden. Auch Milchkühe, die am Ende

¹⁴ Vgl. Kap. 4.3.5.1.2 Ackerland, S. 69

ihres Lebens geschlachtet und zu Lebensmitteln verarbeitet werden, werden doppelt gezählt. In den derzeit vorherrschenden spezialisierten Systemen der Landwirtschaft ist diese Doppelzählung weniger relevant als bei den integrierten Systemen.

Die in der Tierhaltung anfallenden Exkremeente werden ebenso wie ein Teil der verbleibenden Grünlandflächen für die energetische Nutzung herangezogen, im derzeitigen Ansatz rein zur Biogasbereitstellung. Eine Zusammenstellung der flächenspezifischen Ertragsdaten zeigt Tabelle 10.

Tabelle 10: Biogas aus landwirtschaftlicher Grünlandnutzung (Quelle: eigene Berechnungen auf Basis (FNR 2006), (Simon 2006), (Buchgraber 2007))

Biogas		Substrat-Aufkommen	Gasertrag	Methan-Gehalt	Energieertrag
<i>Quelle</i>	<i>Substrat</i>	[kg _{FM} /ha*a]	[m ³ /ha*a]	[Vol.%]	[GJ/ha*a]
Kühe	Rindermist	77.800	3.501	60	76
Mastrinder	Rindermist	27.720	1.247	60	27
Schweine	Schweinemist	9.520	571	60	12
Masthühner	Hühnermist	1.044	84	60	2
Legehennen	Hühnermist	22.040	1.763	60	38
Gras	Grassilage	7.500	1.388	55	27

Für diese Studie wird davon ausgegangen, dass etwa 75 % des verbleibenden Wirtschaftsgrünlandes energetisch genutzt werden kann. Ob die im derzeitigen Modellansatz anfallenden Grasmengen in Biogasanlagen nutzbar sind wenn wenig oder kein anderes Substrat beigemischt wird, ist zu prüfen.

Ein Großteil der tierischen Produkte wird in dieser Studie über ökologische Landwirtschaft generiert. Durch die Haltung eines Teiles der Tiere im Freiland wird davon ausgegangen, dass nicht die gesamt anfallenden Exkrementmengen genutzt werden können. Etwa die Hälfte aller Rinder, Kühe und Kälber werden auf extensiven Flächen angenommen. Die sich daraus ergebenden Exkrementmengen können nicht energetisch genutzt werden. Schweine, Geflügel und Eier werden in verdichteter Weise produziert. Daher wird die gesamte Exkrementmenge zur Bereitstellung von Biogas herangezogen. Gesamt können dadurch bei derzeitigen Einstellungen knapp 78 PJ Biogas jährlich aus dem Grünland bereitgestellt werden. Diese werden in weiterer Folge auf dem darüber liegenden Prozessplan „Biomasse, landwirtschaftlich“ (vgl. Kap. 4.3.5.1) zu Erdgasqualität aufbereitet.

4.3.5.1.2 Ackerland

Gewählte Gliederung dieses Bereichs

- Pflanzen für Nahrungsmittel und für stoffliche Nutzung: Getreide, Ölfrüchte, Kartoffel, Körnerleguminosen, Rüben, Gemüse, Feldfutter auf dem Ackerland, sonstige Ackerpflanzen¹⁵, energetische Strohnutzung (nur Biogas)
- Energiepflanzen auf dem Ackerland: Ölpflanzen für die Biodiesel- und Rapsölbereitstellung, Stärke- und Zuckerpflanzen zur Ethanolproduktion (Triticale, Zuckerrüben, Roggen, Weizen, Körnermais, Kartoffel), Lignocellulosepflanzen für die thermische Nutzung

Haupt-Datenquellen

Versorgungsbilanzen aus (BMLFUW 2008 C), (FNR 2006), (FNR 2008), Feldfruchternten 2006 (Statistik Austria 2006), 2007 (Statistik Austria 2008 D), 2008 (Statistik Austria 2008 E); (KTBL 2006), (Statistik Austria 2008 A), (Statistik Austria 2008 B)

Eingabedaten

- Fläche Ackerland
- Stoffliche Nutzung und Lebensmittelbedarf bei Getreide, Ölfrüchten, Körnerleguminosen, Kartoffeln, Rüben und Gemüse:
 - Inlandsverwendung [t]
 - Selbstversorgungsgrad [-]
 - durchschnittlicher Ertrag [t/ha]
- Stoffliche Nutzung und Lebensmittelbedarf bei Feldfutter und sonstigen Ackerpflanzen:
 - Flächenbedarf [ha]
- Energieerträge aus primär stofflicher Nutzung:
 - Strohertrag (bei Getreide) [t/ha]
 - Gasertrag [kWh/t]

¹⁵ Unter sonstigen Ackerpflanzen werden alle nicht separat behandelten Pflanzen verstanden, die derzeit auf dem Ackerland angebaut werden.

- energetisch genutzter Anteil des Strohanfalls [-]
- Energetisch genutzte Ölpflanzen:
 - Ertrag [t/ha*a] (Raps)
 - spezifischer Energieertrag [MJ/kg]
 - Anteil Rapssaat zu Rapsöl bzw. Rapsmethylester (RME) [-]
- Energetisch genutzte Stärke- und Zuckerpflanzen
 - Bioethanolertrag [l/ha*a]
 - Heizwert Bioethanol [MJ/l]
- Energetisch genutzte Lignocellulosepflanzen:
 - flächenbezogener Energieertrag [MJ/ha*a] (Miscanthus)

Prozesspläne in diesem Bereich

- „Ackerland“, „Pflanzen für Lebensmittel und stoffliche Nutzung auf dem Ackerland“, „Energiepflanzen auf dem Ackerland“

Aufteilglieder

- Ein Aufteilglied zur Verteilung des für die energetische Nutzung zur Verfügung stehenden Ackerlands auf die Energiepflanzen

In den Jahren 2006 bzw. 2007 standen in Österreich etwa 1,37 Mio. ha Ackerland zur Verfügung (Statistik Austria 2008 B). Der Bedarf Österreichs an den auf diesen Flächen angebauten Pflanzen wird, wie auch bei den tierischen Produkten in den Versorgungsbilanzen der Statistik Austria angegeben. Grundsätzlich ist aber zu bedenken, dass die Versorgungsbilanzen für tierische Produkte auf ein Kalenderjahr bezogen sind, diejenigen für pflanzliche Produkte aber auf ein Wirtschaftsjahr. Dieses beginnt am 1.Juli und endet am 30.Juni des darauffolgenden Jahres (BMLFUW 2008 C, 28). Aus diesem Grund, und da die Erträge der Pflanzen von den im jeweiligen Jahr herrschenden klimatischen Bedingungen abhängen, werden die Hektarerträge aus den Jahren 2006 und 2007 gemittelt für diese Betrachtung herangezogen. Für Feldfutter und sonstige Ackerpflanzen gibt es keine Versorgungsbilanzen, deshalb wird hier direkt der Flächenbedarf berücksichtigt. Die Daten der spezifischen Pflanzenerträge

werden aus den Berichten zur österreichischen Feldfruchternte der entsprechenden Jahre entnommen, die ebenfalls von Statistik Austria erstellt werden.

Die in den Versorgungsbilanzen ausgewiesene IV enthält den Bedarf für Nahrungs- und Fütterungszwecke, für die industrielle Verarbeitung (inklusive Energieträgerbereitstellung) sowie Verluste (BMLFUW 2008 C, 28). Somit müssen für diese Betrachtung die in diesen Jahren für die Energiebereitstellung genutzten Mengen abgezogen werden.

In Österreich werden derzeit etwa 25.000 ha Raps für die Erzeugung von Biodiesel herangezogen (BMLFUW 2008 A, 25). Diese werden bei den benötigten Flächen für Ölfrüchte abgezogen und die Werte für IV und SVG werden angepasst. Im Jahr 2006 wurde in Österreich der Ertrag von knapp 40.000 ha Silomais und Feldfutter in Biogasanlagen verwertet. (Raab 2007) Es wird für diese Untersuchung angenommen, dass die Flächen von Mais und Feldfutter in etwa die gleichen waren. Somit werden diese Flächen bei Getreide bzw. Feldfutter abgezogen und bei Getreide ebenfalls die Werte für IV und SVG angepasst. Eine Zusammenstellung der somit erhaltenen Daten zeigt Tabelle 11.

Tabelle 11: Ackerflächen für die Lebens-, Futtermittelbereitstellung sowie zur stofflichen Nutzung (Quelle: eigene Berechnungen v. a. auf Basis (Statistik Austria 2006), (Statistik Austria 2008 D), (Statistik Austria 2008 E), Versorgungsbilanzen aus (BMLFUW 2008 C))

Ackerland nicht energetisch genutzt	IV	SVG	Jahresertrag	Fläche
	[t]	[%]	[t/ha*a]	[ha]
Getreide	4.522.924	94	5,5	773.979
Gemüse	1.011.064	59	46,9	12.764
Ölfrüchte	459.346	50	2,3	99.197
Kartoffel	745.230	88	29,4	22.298
Körnerleguminosen	106.463	103	2,9	38.423
Zucker	436.735	93	9,9	41.003
Feldfutter	-	-	-	226.333
Sonstige	-	-	-	13.274
Flächen für Lebens- und Futtermittel sowie stoffliche Nutzung:				1.227.268

In dieser Studie wird angenommen, dass zumindest die derzeitige Produktion nicht energetisch genutzter Pflanzen erhalten bleibt. Betrachtet man die SVG an den verschiedenen Pflanzenarten, so sieht man, dass speziell bei den Ölpflanzen ein großer Anteil schon derzeit aus dem Ausland importiert werden muss. Mit der im Betrachtungszeitraum herrschenden Charakteristik ergibt sich ein Flächenbedarf für die nicht energetische Nutzung von 1,22 Mio. ha.

Abbildung 20 zeigt den entsprechenden Prozessplan, auf dem die stofflich benötigten Flächen mit den Anteilen für die einzelnen Früchte dargestellt sind. Das bei der Getreideernte anfallende Stroh wird teilweise energetisch verwertet, wobei daraus Biogas bereitgestellt wird. Die ebenfalls mögliche Verbrennung des Strohs wird in dieser Studie nicht berücksichtigt.

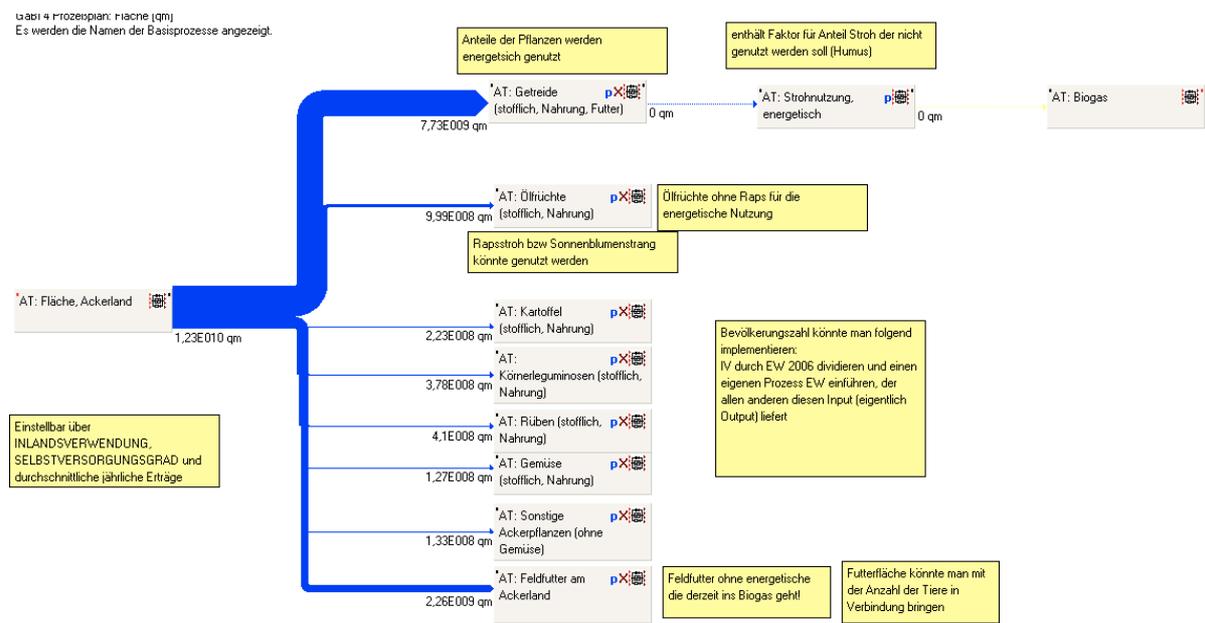


Abbildung 20: Prozessplan „Pflanzen auf dem Ackerland zur Lebens-, Futtermittelbereitstellung und stofflichen Nutzung“

Die verbleibenden Ackerflächen werden für die Energieträgerbereitstellung herangezogen. Es können auf diesen Flächen verschiedene Energiepflanzen angebaut werden. Diese werden nach deren Hauptbestandteilen unterteilt in Ölpflanzen, Stärke- und Zuckerpflanzen und Lignocellulosepflanzen. Entsprechend dieser Inhaltsstoffe werden daraus Biodiesel, Rapsöl, Bioethanol und Miscanthus für die thermische Nutzung gewonnen. Die Daten der flächenbezogenen Kraftstofferträge sind in Tabelle 12 auf der nächsten Seite zusammengestellt, wobei auch die aus der stofflichen Nutzung anfallenden Gaserträge aus Stroh ergänzt wurden.

Tabelle 12: Energieträger aus Ackerpflanzen (Quelle: eigene Berechnungen auf Basis (Statistik Austria 2006), (Statistik Austria 2008 D), (Statistik Austria 2008 E), (KTBL 2006), (FNR 2006), (FNR 2008))

Kraftstoffe vom Acker		Substratertrag	Kraftstoffertrag	Heizwert	Energieertrag
Substrat	Energieträger	[kg _{FM} /ha*a]	[kg/ha*a]	[MJ/kg]	[GJ/ha*a]
Körnermais	Ethanol	9.585	2912	26,7	78
Weizen	Ethanol	4.845	1472	26,7	39
Roggen	Ethanol	3.760	1238	26,7	33
Triticale	Ethanol	5.015	1585	26,7	42
Kartoffel	Ethanol	29.675	1937	26,7	52
Zuckerrübe	Ethanol	64.530	5482	26,7	146
Raps	Biodiesel (RME)	3.110	1244	37,1	46
Raps	Rapsöl	3.110	1244	37,6	47
Stroh	Biogas	2.885	837	18,4	15
Miscanthus	Festbrennstoff	18.000	18.000	13,6	245

Die Substraterträge wurden wie auch im Bereich der stofflichen Nutzung aus den Berichten zur Feldfruchternte der Statistik Austria entnommen. Die daraus generierbaren Kraftstoff- und Energiemengen basieren auf Berichten der deutschen Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe (FNR 2006) & (FNR 2008). Erkennbar sind deutliche Unterschiede in den flächen-spezifischen Ertragswerten.

Die für die energetische Nutzung verbleibenden Ackerflächen werden im Modell über verschiedene Aufteilglieder den unterschiedlichen Energiepflanzen gewidmet. So wird diese Fläche zunächst zwischen den grundlegenden Pflanzenarten aufgeteilt, also zwischen Öl-, Zucker-/Stärke- und Lignocellulosepflanzen. Bei den Zucker-/Stärkepflanzen erfolgt eine weitere Aufteilung auf Körnermais, Weizen, Roggen, Triticale, Kartoffel und Zuckerrübe. Bei den Ölpflanzen ist derzeit nur Raps in das Modell eingeflossen, da dieser der am stärksten energetisch genutzte Vertreter dieser Pflanzenart ist. Hier erfolgt eine Aufteilung insofern, als dass einerseits Biodiesel und andererseits Rapsöl daraus erzeugt werden kann. Für diese Untersuchung wird der Rapsertag zur Hälfte in Biodiesel und zur Hälfte in Rapsöl umgewandelt. Der Prozessplan „Energiepflanzen auf dem Ackerland ist in Abbildung 21 Seite 74 dargestellt.

Energiepflanzen auf dem Ackerland

GaBi 4 Prozelplan: Referenzgrößen
Es werden die Namen der Basisprozesse angezeigt.

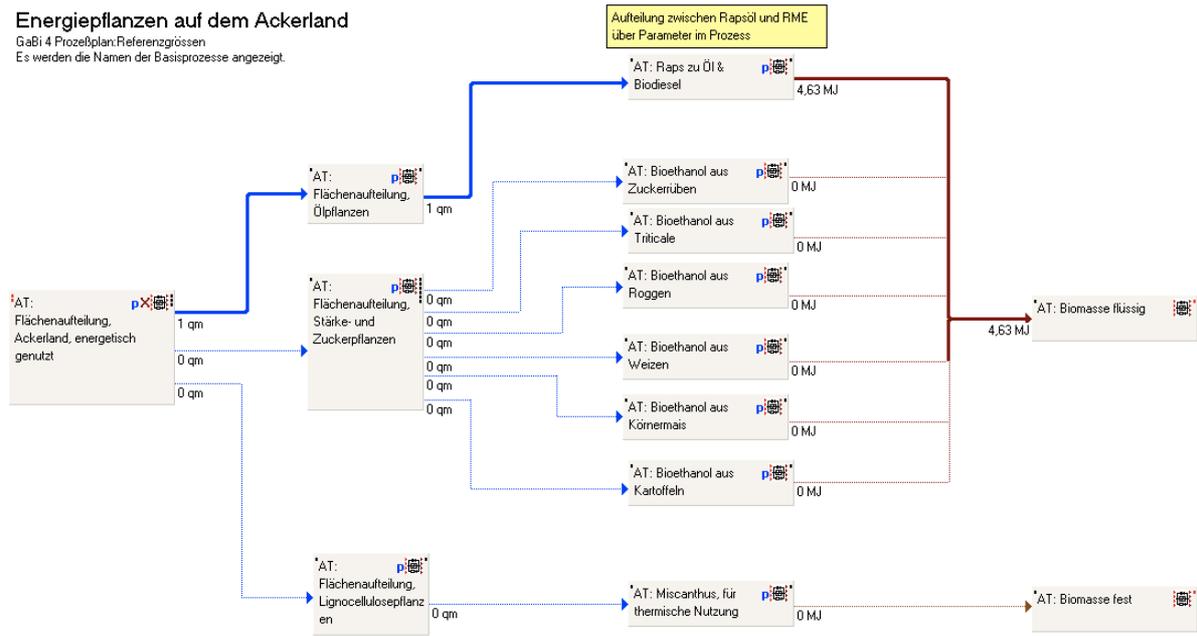


Abbildung 21: Prozessplan „Energiepflanzen auf dem Ackerland“

4.3.5.1.3 Energieträger aus der Landwirtschaft

Im Jahr 2006 wurden in Österreich 321.000 t Biodiesel in Verkehr gebracht. Der größte Anteil davon wurde fossilen Kraftstoffen beigemischt. Zusätzlich wurden etwa 10.000 t pures Pflanzenöl hauptsächlich in der Landwirtschaft eingesetzt. (Winter 2007) Das entspricht 11,9 PJ Biodiesel und 0,4 PJ Pflanzenöl. Derzeit werden etwa 25.000 ha Raps in Österreich für die Gewinnung von Biodiesel verwendet. (BMLFUW 2008 A) Das entspricht bei den im Land herrschenden Verhältnissen knapp 1,2 PJ. Der Großteil des eingesetzten Biodiesels wird also nicht aus im Inland gewonnen Rohstoffen erzeugt.

Im Jahr 2007 gab es in Österreich etwa 350 landwirtschaftliche Biogasanlagen. Diese produzierten rund 150 Mio. m³ Biogas. (Wörgetter 2008) Das entspricht gut 3 PJ. Bei mittleren Energieerträgen waren dafür rund 40.000 ha Ackerland notwendig.

In Summe werden derzeit für Biodiesel und Biogas knapp 65.000 ha landwirtschaftliche Fläche eingesetzt. Dem Anbau anderer Energiepflanzen wurden keine Flächen in größerem Maßstab gewidmet. (vgl. Raab 2007)

Im Modell werden Energieträger aus der Landwirtschaft einerseits aus der Grünlandnutzung gewonnen und andererseits aus Stroh der Getreideproduktion und dem Anbau von Energiepflanzen auf dem Ackerland. Bei den beschriebenen Einstellungen lassen sich 78 PJ Biogas aus dem Grünland bereitstellen. Auf dem Ackerland wird angenommen, dass die Hälfte des in der Getreideproduktion anfallenden Strohs energetisch genutzt werden kann. Dieses wird biochemisch vergast und ergibt 6,4 PJ. Aus der nicht energetischen Ackernutzung verbleiben noch knapp 150.000 ha, wovon derzeit etwa 65.000 ha energetisch genutzt werden, der Rest mit knapp 85.000 ha sind derzeit Bracheflächen. In dieser Untersuchung werden diese vollständig den Ölpflanzen gewidmet. Das ergibt etwa 7 PJ.

Die aus der Landwirtschaft gewinnbaren bzw. in dieser Untersuchung gewonnenen Kraftstoffe werden in den Flüssen Biomasse flüssig (Biodiesel, Rapsöl, Bioethanol), Biomasse fest (Miscanthus) und Biogas zusammengeführt. Eine Zusammenstellung der bei den beschriebenen Einstellungen erreichbaren Potentiale, in Summe 91,4 PJ, zeigt Tabelle 13.

Tabelle 13: Derzeitige Energieträgerbereitstellung aus der Landwirtschaft und Potential bei beschriebenen Modelleinstellungen

Inländische landwirtschaftliche Biomasse derzeit:	
Biomasse flüssig	1,2 PJ
Biogas	3 PJ
Potential bei beschriebenen Einstellungen:	
<i>Grünland</i>	
Biogas	78 PJ
<i>Ackerland</i>	
Biomasse flüssig	7 PJ
Biogas	6,4 PJ
Biomasse fest	0 PJ

4.3.5.2 Biomasse aus der Forstwirtschaft

Gewählte Gliederung dieses Bereichs

- Rohstoffquellen: Holz aus dem Wald, Holz aus Kurzumtriebsanbau, Landschaftspflegeholz

- Holzsortimente aus der Ernte: Sägerundholz (SRH), Kappholz (KH), Industrierundholz (IRH), Rinde (Ri), Brennholz mit Rinde (BH), Waldhackgut¹⁶ (WHG)
- Zwischenprodukte: Schnittholz und Halbfertigprodukte, Sägenebenprodukte (SNP) (ein Anteil der SNP wird zu Pellets weiterverarbeitet)
- Energieträger aus der Forstwirtschaft: WHG, BH, Ri, SNP, Pellets, Dicklaug aus der Papierindustrie, Produkte aus Holz (ein Anteil wird nach deren Verwendung energetisch genutzt)

Haupt-Datenquellen

(Schadauer 2002), (AEA 2007), (LWF 2007), (Austropapier 2007)

Eingabedaten

- Rohstoffquellen:
 - Verteilung der Waldflächen auf die unterschiedlichen Baumarten [ha]
 - Nutzung des Zuwachses an Durchforstungs- und Endnutzungsholz aus dem Wald [-]
 - Flächen für Kurzumtriebsplantagen (Aufteilung auf Pappel und Weide) [ha]
 - Potential Flurgehölze [Mio. fm/a]
- Rohstoffbedarf Platten- und Papierindustrie [fm/a]
- Input/Output-Verhältnisse Sägeindustrie und sonstiger Holzverarbeitung [-]
- Aufteilung SNP in direkt genutzt und Pellets [-]
- Anteil Holzprodukte energetisch verwertet [-]

Prozesspläne in diesem Bereich

- „Biomasse forstlich“, „Wald“

Aufteilglieder

- keine

¹⁶ Unter Waldhackgut wird in diesem Zusammenhang jedes Hackgut verstanden, das direkt am Ort der Ernte erzeugt wird. Es erfasst Hackschnitzel aus dem Wald und aus Kurzumtriebsplantagen.

Schon seit langem wird holzartige Biomasse vom Menschen sowohl als Energieträger als auch zur stofflichen Verarbeitung genutzt. Zur Herstellung von Holzprodukten, als Baumaterial, zur Erzeugung des wichtigen holzbasierten Papiers und auch als Energieträger findet der Rohstoff Holz Verwendung. Daraus ergibt sich eine eindeutige Konkurrenz um diesen begehrten nachwachsenden Rohstoff.

Österreich besitzt derzeit einen Waldanteil von 47 %, das entspricht 3,96 Mio. ha Waldfläche wovon ca. 3,3 Mio. ha in Ertrag stehen. Mit 57 % fällt ein großer Teil dieses Ertragswaldes in die Kategorie Kleinwald mit großteils nicht mehr als 200 ha Waldfläche pro Eigentümer. Die restlichen Waldflächen verteilen sich mit 30 % auf Betriebe und 13 % auf die Bundesforste (ÖBf). (Schadauer 2002)

Von den 3,3 Mio. Hektar Forstfläche sind 9 % mit Blößen und Sträuchern bedeckt bzw. beinhalten Lichtungen. Auf 91 % der Forstflächen befindet sich Wald, der zu 74 % aus Nadel- und zu 26 % aus Laubholz besteht. (Schadauer 2002)

Der Wald ist aber nicht die einzige Quelle holzartiger Biomasse; auch bei der Landschaftspflege fallen energetisch, aber auch stofflich nutzbare Holzsortimente an. Der Einsatz von Kurzumtriebsplantagen mit schnell wachsenden Baumarten wie Pappel und Weide, die etwa doppelte Zuwachsraten verglichen mit den sonst im österreichischen Wald angesiedelten Baumarten besitzen bieten ebenfalls eine Möglichkeit holzartige Biomasse zu lukrieren. Neben diesen Primärquellen fallen auch bei der Bearbeitung von Holz Abfälle an, die stofflich und energetisch genutzt werden können. Sogenannte Sägenebenprodukte (SNP) bestehen vor allem aus Hackschnitzeln, Abschnitten, Spreißeln, Spänen und Staub und werden in der Papier- und Plattenindustrie als Rohstoff genutzt. Da in der Holzverarbeitung oft Prozesswärme gebraucht wird, bietet sich hier auch eine energetische Nutzung der SNP an. Auch zur Herstellung von Pellets werden häufig SNP eingesetzt (Kaltschmitt 2001). Nicht zu vergessen dass Produkte aus Holz nach deren Lebenszeit ebenfalls für eine energetische Nutzung in Frage kommen.

Im Jahr 2005 wurden in Österreich 14,9 Mio. fm holzartige Biomasse energetisch verwertet, wovon 7,4 Mio. fm Brennholz (BH), 2,4 Mio. fm Waldhackgut (WHG), 2,7 Mio. fm Rinde (Ri) und 2,4 Mio. fm SNP waren. Eine Übersicht über die im Jahr 2005 in Österreich benötigten Holzmengen bietet Abbildung 22 auf der nächsten Seite.

Holzströme in Österreich 2005

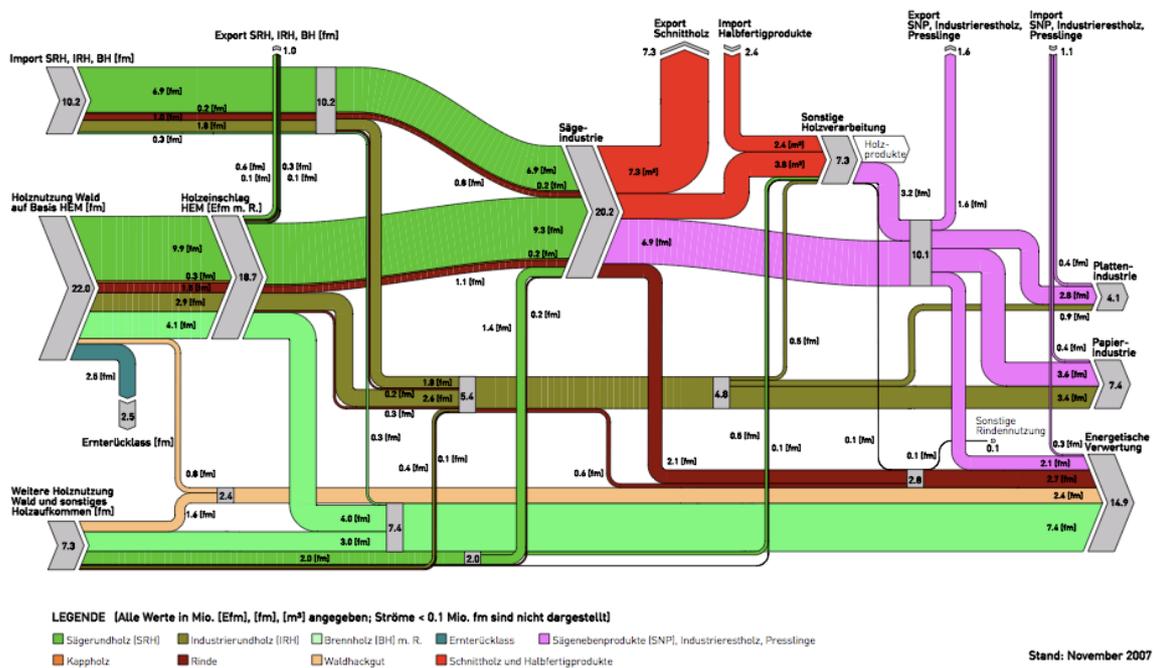


Abbildung 22: Holzströme in Österreich 2005 (Quelle: (AEA 2007))

In dem von der Austrian Energy Agency erstellten Flussbild ist sowohl die energetische als auch die stoffliche Nutzung forstlicher Biomasse im betrachteten Jahr ersichtlich. Es dient als Grundlage zur Modellierung der stofflichen Nutzung und wird im weiteren Verlauf der Arbeit als Holzflussbild bezeichnet.

Das Holzflussbild beruht auf Daten aus der Holzeinschlagsmeldung (HEM), gemeldeten Import- und Exportmengen und Bedarfsdaten der Holzabnehmer. Eine Bilanzierung dieser Daten ergibt eine Differenz, die als „Weitere Holznutzung Wald und sonstige Holzaufkommen“ ausgewiesen wird. Diese nicht gemeldeten Holz mengen stammen teilweise aus dem Kleinwald, aus der Landschaftspflege und beinhalten ebenfalls Teile des Altholzes (AEA 2007). Um einen Zusammenhang herzustellen, zwischen der Menge an aus dem Wald gewinnbaren Holzsortimenten und der zur Verfügung stehenden Waldfläche ist die HEM also nicht geeignet.

Die vom Bundesforschungs- und Ausbildungszentrum für Wald, Naturgefahren und Landschaft (BFW) regelmäßig erstellte Österreichische Waldinventur (ÖWI) aus den Jahren 2000-2002 dient deshalb als Ausgangspunkt für die Modellierung des Waldes und den sich daraus

ergebenden Rohstoffpotentialen. Das Potential der aus der Landschaftspflege stammenden Holzmengen wird ebenso wie das Altholz getrennt betrachtet. Gemäß dem Ziel der Modellierung eine autarke Volkswirtschaft abzubilden werden Import und Export ausgeschlossen.

In Abbildung 23 auf der folgenden Seite ist der Prozessplan „Biomasse forstlich“ dargestellt.

In der Forstwirtschaft werden zur Bestimmung von Holzmenge verschiedene Einheiten verwendet. Für diese Untersuchung sind folgende Einheiten von Bedeutung:

- **Vorratsfestmeter:** Volumen fester Holzmenge oberhalb des Stocks stehender Bäume; ohne Äste, Zweige und Blätter/Nadeln; Bäume unter einem bestimmten Minstdurchmesser werden nicht gerechnet; [Vfm]/[m³]
- **Erntefestmeter:** Volumen fester Holzmenge; nach der Ernte oder geschätzt erntefähig; mit oder ohne Rinde gerechnet; [Efm m. R.]/[Efm o. R.]/[m³]
- **Festmeter:** Volumen fester Holzmenge; [fm]/[m³]

Bei der Bringung des Holzes aus dem Wald kommt es zu sogenannten Ernteverlusten. Diese werden bei einer Umrechnung des Vorrats (in Vfm) auf einen Ernteertrag (in Efm o. R.) mit etwa 20 % angegeben. (Lechner, et al. 2003)

4.3.5.2.1 Rohstoffquellen forstlicher Biomasse

Potentiale aus der Waldnutzung

Für die ÖWI wurde eine Vielzahl an Daten zum österreichischen Waldbestand zusammengetragen. In der Modellierung werden folgende Daten aus der ÖWI entnommen: Verteilung der Baumarten auf die gesamte Waldfläche und deren jährlicher Zuwachs.

Der jährliche Zuwachs des Waldes in Österreich entsprach im Betrachtungszeitraum der ÖWI 9,3 Vfm pro ha. Davon wurden 5,6 Vfm pro ha also etwa 60 % genutzt, der Rest verblieb im Wald und führte dazu, dass sich der Waldanteil an der Gesamtfläche Österreichs erhöhte.

Man unterscheidet in der Waldnutzung Durchforstungsholz und Holz aus der Endnutzung eines Waldbestandes. Ersteres fällt bei der Pflege vorhandener Waldbestände an, um ein optimales Wachstum der zur Endnutzung bestimmten Bäume zu gewährleisten. Bei der Durchforstung fällt das Holz jüngerer Bäume an, die dementsprechend einen geringeren Durchmesser besitzen und daher meist als Industrierundholz oder als Brennholz genutzt werden. Durch die Endnutzung eines Baumbestandes fällt in erster Linie Holz zur stofflichen

Nutzung an. In der Modellierung werden diese beiden Nutzungsarten daher unterschieden. (AGRAR PLUS 2003, 69)

In der ÖWI werden die Durchforstungsreserven mit 75 Mio. Vfm angegeben (Schadauer 2007). Bei einem Gesamtwaldbestand von ca. 1 Mrd. Vfm ergibt sich der Anteil des Durchforstungsholzes zu etwa 7,5 %. Für die weitere Modellierung wird vereinfacht angenommen, dass sich der jährliche Zuwachs verschiedener Baumarten im gleichen Verhältnis auf die beiden Nutzungsformen aufteilen lässt, dass der Durchforstungsholzanteil für alle Baumarten der gleiche ist und dass sich die Anteile des Holzes der beiden Nutzungsformen zukünftig nicht ändert, also keine Durchforstungsreserven abgebaut werden.

Derzeit werden etwa 60 % des Zuwachses aus dem Ertragswald genutzt. Es ist allerdings nicht davon auszugehen, dass eine hundertprozentige Nutzung des Zuwachses möglich ist. Neben forst- und naturschutzrechtlichen Einschränkungen befindet sich ein Teil des Ertragswaldes in schwer zugänglichem Gelände. Es werden daher maximal 85 % des Ertragswaldes als langfristig nutzbar betrachtet (vgl. Kranzl, et al. 2008, 95)¹⁷. Dies wird für Durchforstungs- und Endnutzungsholz in gleichem Maße angenommen.

Bei der Erstellung des Holzflussbildes wurde von einem Rindenanteil, bezogen auf den Vorrat von knapp 11 % ausgegangen, dieser Wert wird für die Modellierung herangezogen. (vgl. AEA 2007)

Das Durchforstungsholz wird in der Modellierung derzeit ausschließlich zu Waldhackgut für die energetische Nutzung verarbeitet. Durch die Verarbeitung im Wald werden hier keine Ernteverluste angenommen.

Tabelle 14 auf der folgenden Seite zeigt die Modelleinstellungen für Zuwachs, Nutzung und Waldflächen nach den vorkommenden Baumarten.

¹⁷ In der zitierten Studie werden 85 % Nutzung vom Zuwachs des gesamten Waldes für möglich erachtet. In der hier vorliegenden Studie wird von 85 % Nutzung des Zuwachses des Ertragswaldes ausgegangen.

Tabelle 14: Zuwachs und Nutzung im österreichischen Wald (Quelle: eigene Berechnungen auf Basis (Schadauer 2002), (Schadauer 2007))

Österreichischer Wald	Gesamter Wald		Anteil Durchforstung		Anteil Endnutzung	
	Fläche	Zuwachs	Zuwachs	Nutzung	Zuwachs	Nutzung
	1000 [ha]	[Vfm/ha*a]				
<i>Nadelhölzer</i>						
Fichte	1810	11,1	0,9	0,7	10,3	8,7
Kiefer	189	9,4	0,7	0,6	8,7	7,4
Sonstiges Nadel	256	11,1	0,9	0,7	10,3	8,7
<i>Laubhölzer</i>						
Buche	323	8,0	0,6	0,5	7,4	6,3
Eiche	66	11,7	0,9	0,8	10,8	9,2
Pappel	15	22,7	1,7	1,5	20,9	17,8
Weide	7	16,8	1,3	1,1	15,5	13,2
Sonstiges Laub	388	6,9	0,5	0,5	6,4	5,4

Die in der Tabelle dargestellten Waldflächen bilden etwa 91 % des Ertragswaldes ab. Die restlichen 9 % sind Sträucher, Blößen und Lücken wobei letztere mit über 5 % den Großteil ausmachen. Die sich eventuell aus diesen Beständen bzw. Flächen ergebenden Potentiale werden in dieser Studie nicht betrachtet. In Abbildung 24 ist der Prozessplan, der die Waldnutzung abbildet dargestellt.

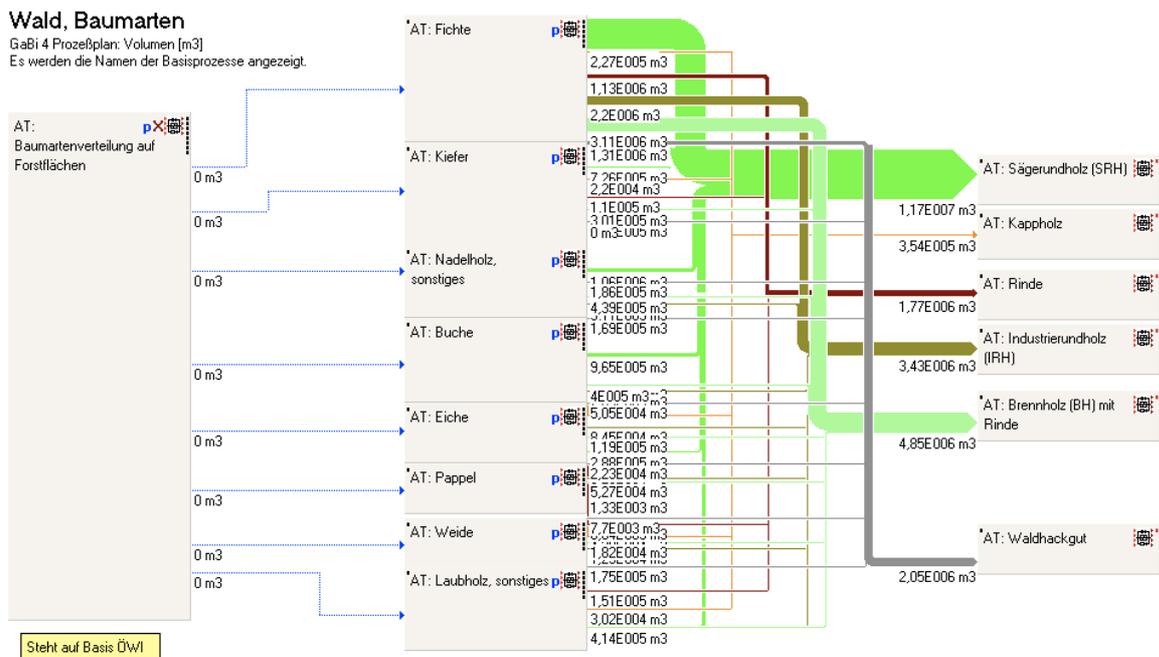


Abbildung 24: Prozessplan „Wald“

Bei der Forstwirtschaft fallen verschiedene Holzsortimente an die aufgrund ihrer unterschiedlichen Eigenschaften i. Allg. entsprechenden Nutzungslinien zugeführt werden. Es ist also notwendig die aus dem Wald gewinnbaren Holzmengen auf die anfallenden Holzsortimente aufzuteilen. Diese Aufteilung erfolgt in Anlehnung an das Holzflussbild für das Jahr 2005. Vergleicht man dies mit den HEMen der letzten Jahre so sieht man, dass diese Verteilung in etwa jedes Jahr die gleiche ist. In Tabelle 15 auf der folgenden Seite sind die relativen Anteile der verschiedenen aus dem Wald gewonnen Holzsortimente und die sich bei den beschriebenen Modelleinstellungen ergebenden Potentiale zusammengestellt.

Tabelle 15: Biomassepotential aus dem Wald bei beschriebenen Einstellungen nach Sortimenten (Quelle: eigene Berechnungen, (AEA 2007), (BMLFUW 2006))

<i>Sortiment</i>	<i>Abkürzung</i>	Anteil	Gesamt
Endnutzung		[%]	[Mio. fm/a]
Sägerundholz	SRH	52,9	11,7
Kappholz	KH	1,6	0,4
Rinde	Ri	8,0	1,8
Industrierundholz	IRH	15,5	3,4
Brennholz m. R.	BH	21,9	4,9
<i>Endnutzung Gesamt</i>		<i>100,0</i>	<i>22,2</i>
Durchforstung			
Waldhackgut	WHG		2,1
Gesamt			24,3

Es ergeben sich in etwa die Potentiale an den verschiedenen Holzsortimenten, die auch in einer Studie des BFW, gemeinsam mit anderen Instituten der Waldforschung zum Biomassepotential in Österreich bis 2020 im Szenario „Konstantes Volumen“¹⁸ errechnet wurden. (Mauser & Mannsberger 2007)

Durch den detaillierten Ansatz im Bereich Wald bietet das Modell die Möglichkeit auch Änderung der Waldzusammensetzung und die sich daraus ergebenden Auswirkungen auf die stoffliche und energetische Nutzung abzubilden.

¹⁸ Konstantes Volumen bedeutet in diesem Zusammenhang, dass der Wald nicht stärker genutzt wird, als er nachwächst (Nutzung nicht höher als Zuwachs)

Potentiale aus der Landschaftspflege und durch Energieholzplantagen

Bei der Landschaftspflege fällt ebenfalls holzartige¹⁹ Biomasse an, die i. Allg. gut zur energetischen Nutzung geeignet ist. Man unterscheidet u. a. Straßenbegleitholz, Gehölze in der freien Landschaft, Baumschnitt aus Parks, Anlagen, Friedhöfen, Obstplantagen, Streuobstwiesen, Rebflächen und Schwemmholz. (Kaltschmitt 2001)

Durch die Vielzahl möglicher Quellen und die Unregelmäßigkeit der Gewinnung derartigen Holzes ist es kaum nachzuvollziehen, wie groß das Potential dieser Biomassequellen bzw. auch wie groß der Anteil dieser an der derzeitigen Nutzung ist. Eine Schätzung für das Jahr 2001 geht davon aus, dass in diesem Jahr rd. 2,5 Mio. fm Holz für die energetische Nutzung vom Nichtwaldboden stammten. (AGRAR PLUS 2003) In einem ersten Ansatz wird für diese Studie angenommen, dass sich langfristig durch organisierte und forcierte Nutzung noch Potentiale in diesem Bereich erschließen lassen und somit etwa 3,75 Mio. fm jährlich zur Verfügung stehen können. Diese Mengen werden in der Modellierung als luftgetrocknetes Brennholz gerechnet²⁰.

Auch der Anbau schnellwachsender Baumarten, in Europa vor allem Pappeln und Weiden ist eine Möglichkeit holzartige Biomasse zur Nutzung bereitzustellen. Werden Flächen rein mit diesen schnellwachsenden Baumarten bepflanzt so spricht man von Kurzumtrieb. Diese Art der Bewirtschaftung bietet im Vergleich zu herkömmlicher Forstwirtschaft kürzere Nutzungsintervalle von 2 bis etwa 10 Jahren, selten bis 20 Jahre. Je länger die Nutzungsintervalle gewählt werden, desto größer wird der Baum bzw. besitzt größere Durchmesser.

Für die Gewinnung von Energieträgern aus Kurzumtriebsplantagen wird in erster Linie das Ernteverfahren Hackgutlinie angewandt. Bei diesem Verfahren werden das Fällen, Hacken und Verladen in einem Arbeitsgang erledigt und dadurch kann es preislich und logistisch günstig erfolgen. (KTBL 2006)

¹⁹ Bei der Landschaftspflege fällt holzartige aber auch halmgutartige Biomasse an. In dieser Untersuchung wird nur der holzartige Anteil betrachtet.

²⁰ Berechnung des Heizwertes siehe Kap. 4.3.5.2.3, S.88

Der bei Kurzumtrieb auftretende hohe Nährstoffentzug aus dem Boden erreicht allerdings ähnlich hohe Werte wie dies bei landwirtschaftlicher Bodennutzung der Fall ist. (Englisch, et al. 2009)

In die Modellierung werden Pappeln und Weiden mit mittleren flächenspezifischen Jahreserträgen aus der Hackgutlinie implementiert. Nach Lagerung erreichen die Hackschnitzel etwa 70 % Trockenmasse-Gehalt, wobei etwa 20 % Verluste an technisch nutzbarer Energie (Heizwert) auftreten. (KTBL 2006)

Im Jahr 2007 wurde in Österreich auf 915 ha Energieholz kultiviert. (Statistik Austria 2008 B). Für den Anbau von Energiehölzern kommen prinzipiell Flächen in Frage, auf denen auch andere Pflanzen angebaut werden können. Dies können landwirtschaftliche und forstwirtschaftliche Flächen sein. In einem ersten Ansatz wird davon ausgegangen, dass keine weiteren landwirtschaftlichen Flächen für Energieholz zur Verfügung stehen werden und dass auch keine Waldflächen der reinen Energieholzproduktion gewidmet werden.

Tabelle 16 zeigt die aus Landschaftspflege und Energieholzplantagen bei beschriebenen Modelleinstellungen erreichten Energieträgerpotentiale.

Tabelle 16: Nutzung von Kurzumtriebsplantagen und Flurgehölzen (Quelle: eigene Berechnung auf Basis (KTBL 2006), (Statistik Austria 2008 B), (AGRAR PLUS 2003))

Kurzumtrieb & Flurgehölze	Fläche	Biomasse-Ertrag			Energieertrag	
		spezifisch	gesamt		spezifisch	gesamt
	[ha]	[t _{FM} /ha*a]	[t _{FM} /a]	[Mio. fm/a]	[GJ/ha*a]	[PJ/a]
Pappel	458	14,3	6549	-	139	0,06
Weide	458	10,5	4794	-	101	0,05
Flurgehölze	-	-	-	3,75	-	28,38

4.3.5.2.2 Holzverarbeitende Industrien

Zu der in Österreich wichtigen Holz verarbeitenden Industrie zählen die Zweige Sägeindustrie, die sonstige Holzverarbeitung²¹, die Platten- und die Papierindustrie. Zur Modellierung

²¹ Darunter sind u. a. Zimmereien, Tischlereien, Möbel- und Furnierwerke aber auch Lawinenverbauung, Straßenverwaltungen, Land- und Forstwirtschaft etc. zusammengefasst. AEA, „Holzströme in Österreich 2005“, Austrian Energy Agency (Wien, 2007).

der stofflichen Verarbeitung von Holz werden die im Jahr 2005 von den verschiedenen Industriezweigen benötigten und produzierten Holzmengen getrennt nach Sortimenten herangezogen.

Für die Sägeindustrie und die sonstige Holzverarbeitung wird angenommen, dass diese unmittelbar mit dem forstlichen Holzeinschlag zusammenhängen. In das Modell werden für diese beiden Industriezweige die Verhältnisse zwischen In- und Output im Jahr 2005 implementiert und mit den in diesen Zweigen genutzten Holzsortimenten aus dem Wald verknüpft. 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.

Für die Modellierung der Platten- und Papierindustrie im Land wird vereinfacht angenommen, dass sich deren Produktionskapazitäten nicht verändern. Es werden in diesen beiden Industrien die Inputs als Mengen vom Jahr 2005 übernommen. Produkte der Papierindustrie werden für eine energetische Verwertung vernachlässigt, da angenommen wird, dass der Großteil des Altpapiers wieder zur Produktion neuen Papiers herangezogen wird. Potentiale, die sich aus einer eventuellen energetischen Nutzung von Produkten der Plattenindustrie ergeben, werden ebenfalls in diese Studie nicht betrachtet.

Ein wichtiges als Energieträger genutztes Nebenprodukt der Papierindustrie bildet die bei der Zellstoffproduktion anfallende Dicklauge. Diese wird in erster Linie zur energetischen Versorgung des Zellstoffprozesses verwendet. Im Jahr 2005 wurden in der österreichischen Papierindustrie knapp 7,7 Mio. fm IRH und SNP zu gut 2,8 Mio. t Dicklauge und zu Papier und Zellstoff umgesetzt. (Austropapier 2007)

Einen Überblick über die in dieser Modellierung betrachteten In- und Outputs der holzverarbeitenden Industrien gibt die auf der nächsten Seite folgende Tabelle 17.

Tabelle 17: Bedarf und Produktion (betrachteter Anteil) der Holzverarbeitenden Industrien 2005 (Quelle: (AEA 2007), (Austropapier 2007))

Holzverarbeitung	Inputs					Outputs				
	SRH	Ri	IRH	ZwPr	SNP	ZwPr	SNP	Ri	Produkte	Lauge
	[Mio. fm]					[Mio. fm]				[Mio. t]
Sägeindustrie	7,0	2,1	-	-	-	11,1	6,9	2,1	-	-
sonst. Holzverarbeitung	0,5	0,1	0,5	6,2	-	-	3,2	0,1	4,0	-
Plattenindustrie	-	-	0,9	-	3,2	-	-	-	-	-
Papierindustrie	-	-	3,4	-	4,0	-	-	-	-	2,8

ZwPr ... Zwischenprodukte

Die energetische Versorgung dieser Industriezweige erfolgt teilweise aus Holzabfällen bzw. aus Nebenprodukten aus den internen Produktionsprozessen. Für die Modellierung wird der Energiebedarf dieser Industrien auf der Bedarfsseite gerechnet. Deshalb werden die in der Produktion anfallenden Energieträger, die in Realität den Betrieb nicht verlassen ebenfalls zu den Potentialen gerechnet und an die Bedarfsseite überwiesen.

4.3.5.2.3 Energieträger aus der Forstwirtschaft

Im Jahr 2005 betrug das Holzaufkommen für energetische Zwecke 14,9 Mio. fm, das entspricht 117,9 PJ. (BMLFUW 2008 B, 26). Davon war knapp die Hälfte Brennholz (7,4 Mio. fm), 18 % Rinde, 16 % Waldhackgut und ebenfalls etwa 16 % SNP. (AEA 2007)

In der Modellierung werden die Holzsortimente, die zur energetischen Nutzung anfallen über Heizwerte in Energiemengen umgerechnet. Da sich die Heizwerte verschiedener Baumarten deutlich unterscheiden, wird dafür ein gemittelter Heizwert auf Basis der Zusammensetzung des österreichischen Waldes berechnet. Da die im Brennstoff enthaltene Wassermenge ein wesentlicher Einflussfaktor auf die erhaltene Energiemenge ist, wird für verschiedene Wassergehalte²² (w) ein entsprechender Heizwert berechnet. Es werden die Zustände frisch geschlagenes Holz (w=50 %), luftgetrocknetes Holz (w=15 %) und absolut trockenes Holz

²² Der Wassergehalt ist die Wassermenge im Holz bezogen auf die feuchte Holzmasse. Martin (Hrsg.) Kaltschmitt, *Energie aus Biomasse* (Berlin-Heidelberg: Springer, 2001), S. 240.

(w=0 %) betrachtet. Der gemittelte Heizwert des Waldes wird für verschiedene Holzsortimente herangezogen: WHG, BH, Ri, SNP und Holzprodukte. Allerdings werden für diese Sortimente teilweise unterschiedliche Wassergehalte angenommen: WHG wird nicht an der Luft getrocknet und mit w = 50 % gerechnet. Für BH wird angenommen, dass dieses luftgetrocknet zum Einsatz kommt. Der Energieinhalt von Rinden ist abhängig von der Menge darin enthaltener Harze und Extraktstoffe. Es gibt Rinden mit einem höheren Heizwert als dem von Holz, aber auch umgekehrt. (Verscheure 1998) Deshalb wird die Rinde ebenfalls mit dem gewichteten Heizwert für Holz gerechnet. Weiters wird angenommen, dass die Rinde nicht getrocknet wird (w=50 %). SNP werden mit einem Wassergehalt von 15 % gerechnet, da diese einerseits in der Säge feucht anfallen und in der sonstigen Holzverarbeitung trocken. Holzprodukte nach deren Lebensdauer werden als absolut trocken gerechnet. Ein Teil der in der Holzverarbeitung anfallenden SNP werden zu Pellets umgewandelt. Hier wird in der Modellierung ein Lebenszyklusprozess aus der ECOINVENT Datenbank herangezogen, wobei der Herstellungsaufwand vom Energieinhalt der Pellets abgezogen wird. Für die in der Zellstoffproduktion anfallende Dicklauge wird ein durchschnittlicher Heizwert von 8 MJ/kg eingesetzt. Weiters wird für diese Untersuchung angenommen, dass etwa 60 % der hergestellten Holzprodukte für eine thermische Verwertung zur Verfügung stehen können. Eine Zusammenstellung der bei diesen Annahmen generierbaren Energiemengen aus forstlicher Biomasse sind in Tabelle 18 zusammengestellt.

Tabelle 18: Eigenschaften und Erträge forstlicher Biomasse (bei derzeitigen Modelleinstellungen) (Quelle: eigene Berechnungen auf Basis (LWF 2007), ECOINVENT, (Austropapier 2007))

Biomasse aus der Forstwirtschaft	Wassergehalt	Heizwert		Gesamtanfall		Energieertrag
	[%]	[MJ/fm]	[MJ/kg]	[Mio. fm/a]	[Mio. kg/a]	[PJ/a]
WHG	50	6721	-	2,05	-	14
BH	15	7568	-	8,6	-	65
Ri	50	6721	-	1,87	-	13
SNP	15	7568	-	0,4	-	3
Holzprodukte	0	7745	-	2,72	-	21
Pellets	-	-	18,7	-	202	4
Dicklauge	-	-	8	-	2840	23
					Gesamt:	142

Alle sich aus der Forstwirtschaft ergebenden Energieträger werden im Fluss Biomasse fest zusammengeführt. Dies erfolgt deshalb, da die Dicklauge ebenso wie der Großteil holzartiger

Biomasse in Heizkesseln thermisch verwertet wird und keine flüssigen Brennstoffe in Heizkesseln in der Modellierung berücksichtigt werden.

Bei den gezeigten Einstellungen ergeben sich langfristige Potentiale forstlicher Biomasse von 98 PJ, zuzüglich etwa 23 PJ Dicklauge und 21 PJ Altholz. Einen Vergleich der derzeitigen Nutzung forstlicher Biomasse und dem Potential zeigt Tabelle 19.

Tabelle 19: Derzeitige energetische Nutzung von Holz und holzartigen Abfällen und Potential bei beschriebenen Modelleinstellungen ohne Dicklauge und Altholz

Nutzung forstlicher Biomasse im Jahr 2005:	
Biomasse fest	117,9 PJ
Potential bei beschriebenen Einstellungen:	
Biomasse fest	98 PJ

Durch die autarke Versorgung Österreichs auch mit Rohstoffen für die holzverarbeitende Industrie und die damit einhergehende Substitution derzeit importierter Holzsortimente ergibt sich ein langfristig geringeres Energieträgerpotential aus forstlicher Biomasse als derzeit eingesetzt wird.

4.3.5.3 Diskussion der Biomassebereitstellung

Die Bereitstellung von energetisch nutzbaren Biomassesortimenten aus der Land- und Forstwirtschaft ist durch die vorhandenen Konkurrenzen mit anderen Nutzungsschienen geprägt. Aus diesem Grund wurden diese Bereiche tiefer gehend modelliert und recherchiert. Dabei aufgetretene Eigenheiten und Erkenntnisse sollen im Folgenden diskutiert werden.

Für die Modellierung der Viehwirtschaft wurden Werte aus der biologischen Landwirtschaft verwendet, die einen maximalen spezifischen Flächenbesatz angeben. Durch die biologische Haltungsform wird angenommen, dass die Tiere zu einem Großteil auf extensiven Flächen gehalten werden können. Es ergibt sich in der Modellierung ein relativ geringer Wert für die zur Deckung der inländischen Nachfrage tierischer Produkte notwendigen Grünlandflächen. Hier wird zu prüfen sein, ob das Nahrungsangebot auf den extensiven Flächen für die entsprechende Fleischproduktion ausreichend ist. Anzumerken ist, dass die für die Tierhaltung benötigten Ackerflächen zur Futtermittelbereitstellung nicht reduziert wurden, also aus diesem Bereich Futtermittelmengen zur Verfügung stehen.

Durch die Annahme der Tierhaltung auf extensiven Flächen werden intensiv nutzbare Grünlandflächen für die Energiebereitstellung frei. In dieser Studie wird damit gerechnet, dass 75 % der nicht anderweitig verwendeten Grünlandflächen energetisch zur Biogasbereitstellung aus Grassilage verwendet werden können. Es wird in weiterer Folge zu überprüfen sein, ob die Flächen tatsächlich in derartigem Ausmaß genutzt werden können im Hinblick auf die Bringung der Biomasse und auf die Verarbeitbarkeit der anfallenden Substratmengen.

In der Modellierung des Ackerlandes werden Werte für die derzeitigen Flächenerträge der unterschiedlichen Pflanzen herangezogen. Eine Veränderung dieser Erträge bei Umstellung auf biologische Landwirtschaft müsste genauer untersucht werden. Hält man die Produktion an pflanzlichen Lebensmitteln und Rohstoffen für andere nicht energetische Zwecke konstant, so ergibt sich ein relativ geringes Potential an Energieträgern aus dem Ackerland. Nicht zuletzt, da die spezifischen Flächenerträge relativ gering sind und somit große Flächen zur Bereitstellung großer Energieträgermengen herangezogen werden müssten.

Auch die Auswirkungen einer verstärkt biologischen Landwirtschaft auf die dann entsprechend weniger benötigten Düngermengen sind zu untersuchen, gerade weil Dünger in seiner Herstellung sehr energieintensiv ist.

Die Modellierung der Landwirtschaft basiert auf Werten für spezialisierte Systeme wie sie derzeit eingesetzt werden. Das bedeutet, dass auf einer bestimmten Fläche nur ein definiertes Zielprodukt angebaut wird. Das Gegenstück sind integrierte Landwirtschaftssysteme. Sie basieren auf sogenannten Bioraffineriekonzepten, bei denen unterschiedliche Inhaltsstoffe der Pflanzen für energetische bzw. nicht energetische Nutzungen herangezogen werden. Dabei werden alternative, standortangepasste Fruchtfolgesystemen eingesetzt, in denen der Nährstoffkreislauf weitgehend geschlossen ist. Amon geht in einer Studie davon aus, dass auf diese Weise in Österreich 221 PJ Biogas jährlich bereitgestellt werden können, und gleichzeitig die Versorgung Österreichs mit Lebensmittel und pflanzlichen Rohstoffen für nicht energetische Nutzungen sichergestellt ist. (Amon, et al. 2008, 162)

In der Modellierung der Landwirtschaft erfolgte für diese Untersuchung keine funktionale Verknüpfung zwischen den zu versorgenden Einwohnern des Betrachtungsraums und den dafür notwendigen Tieren bzw. Früchten. Auch auf eine funktionale Verknüpfung zwischen Futtermitteln und Tieren wurde derzeit verzichtet. Hier besteht für eine Weiterführung der Arbeit die Möglichkeit der Verbesserung des Modells.

Im Bereich der holzartigen Biomasse aus der Forstwirtschaft wird in dieser Untersuchung der Ansatz verfolgt auch die Holzverarbeitenden Industrien im Land aus inländischen Quellen zu versorgen. Durch die Substitution der derzeit importierten Holzsortimente ergibt sich ein niedrigeres Energieträgerpotential als derzeit schon energetisch genutzt wird. Ob die Nutzung des Zuwachses aus dem Wald noch stärker forciert werden kann bzw. ob aus der Landschaftspflege oder anderen Quellen, wie etwa Obstanlagen, Weingärten oder Schwemmholz noch weitere Potentiale lukriert werden können ist zu untersuchen.

Weiters konnten bei der Modellierung der Forstwirtschaft folgende Erkenntnisse gewonnen werden:

- Bei gleicher Produktionscharakteristik von Papier- und Plattenindustrie wie im Jahr 2005 müssten bei den beschriebenen Einstellungen trotzdem rd. 1,5 Mio. fm IRH importiert werden.
- Zur Untersuchung einer verstärkt energetisch ausgerichteten Waldnutzung wurde ein Glied in das Modell implementiert mit dem es möglich ist SRH direkt als BH der energetischen Nutzung zuzuführen. Es zeigte sich, dass bei ansonsten gleichbleibenden Modelleinstellungen eine forcierte Brennholzbereitstellung durch das verminderte Aufkommen stofflich genutzten Holzes und daraus gewinnbaren Altholzes keine Steigerung der gesamt aus der Forstwirtschaft resultierenden Energieträgermenge erreicht werden kann.

Veränderungen in der Produktionscharakteristik der Land- und Forstwirtschaft haben Auswirkungen auf die in diesen Bereichen benötigten Energiemengen. Eine verstärkte Nutzung des Waldes würde auch mehr Energieträger benötigen. Eine verstärkt biologische Landwirtschaft würde dagegen weniger Energieträger benötigen. Es wird davon ausgegangen, dass diese Zusammenhänge keine ausschlaggebenden Auswirkungen auf das Gesamtsystem haben, auch weil der derzeitige Energiebedarf für Off-Road Traktion aus der Land- und Forstwirtschaft, Fischerei und Fischzucht zusammen nur etwa 10 PJ ausmacht.

4.3.6 Zusammenfassung der Bereitstellungsseite

Eine zusammengefasste Darstellung der in den vorangegangenen Kapiteln beschriebenen Potentiale erneuerbarer Energieträger und der aus diesen Quellen derzeit genutzten Mengen zeigt Tabelle 20.

Tabelle 20: Bereitstellung von Energieträgern aus erneuerbaren Quellen derzeit und bei beschriebenen Einstellungen

Derzeitige Bereitstellung aus inländischen erneuerbaren Quellen:	
Strom	140,1 PJ
Biogas	3,0 PJ
Biomasse flüssig	1,2 PJ
Biomasse fest	117,9 PJ
Wärme aus Geothermie	0,6 PJ
Gesamt	262,8 PJ
Potential bei beschriebenen Einstellungen:	
Strom	303,4 PJ
Biogas	84,4 PJ
Biomasse flüssig	7,0 PJ
Biomasse fest	98,0 PJ
Fernwärme aus Geothermie	4,7 PJ
Gesamt	497,4 PJ

Bei den in der Tabelle angegebenen Werten ist für die Szenarienanalyse folgendes zu bedenken: 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 Lauge und Altholz und die Potentiale an Strom erhöhen sich noch um den Beitrag aus der Energieträgerumwandlung in der Kraftwärmekopplung.

4.4 Umwandlung von Energieträgern

Unter der Umwandlung von Energieträgern wird in dieser Arbeit die großtechnische Umsetzung verstanden. In diesem Zusammenhang werden industrielle Kraftwärmekopplungs-Anlagen (KWK) zur Bereitstellung von Prozessdampf, KWK Anlagen regionaler Energieversorgungsunternehmen 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.

In Bezug auf die Österreichische Energiebilanz ergibt sich durch die Art der Modellierung in diesem Bereich ein bedeutender Unterschied der Zuteilung: Industrielle Anlagen zur Bereitstellung von Prozessdampf werden in der Energiebilanz nicht im Bereich der Umwandlung,

sondern in der Nutzenergiekategorie Dampferzeugung berücksichtigt. Eine Ausweisung des Prozessdampfes erfolgt in der Bilanz nur als Nutzenergieanteil aus dieser Kategorie. In der Modellierung wird die Menge an benötigtem Prozessdampf auf der Bedarfsseite festgelegt und aus dem Bereich der industriellen KWK bereitgestellt.

Für die Modellierung besitzt die großtechnische Umwandlung eine Sonderstellung. Sie liegt zwischen der Bedarfs- und der Bereitstellungsseite. Beide Seiten werden in ihren Werten festgelegt und die Differenz über Energieträger bilanziert. Die Kraftwerke der großtechnischen Umwandlung verarbeiten bzw. erzeugen Energieträger, die in dieser Untersuchung zur Bilanzierung zwischen Bedarf und Bereitstellung herangezogen werden. Da Energieträger bereitgestellt werden, die auf der Bedarfsseite nachgefragt, aber nicht bilanziert werden (Fernwärme und Prozessdampf), ergibt sich die Position dieser Kraftwerke zwischen Bilanzierung und Bedarf. Abbildung 25 zeigt einen Ausschnitt aus dem Gesamtplan „Energiesystem“, der die Position dieser Umwandlungen darstellt.

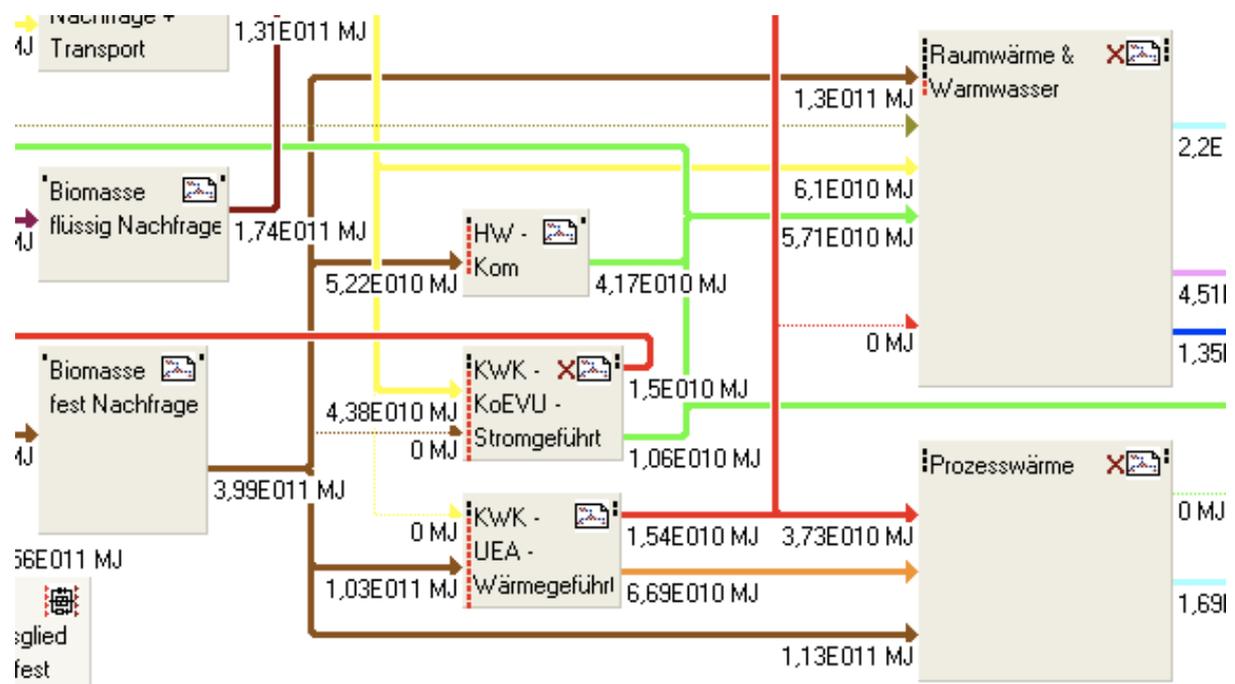


Abbildung 25: Ausschnitt aus dem Prozessplan „Energiesystem“, Umwandlung von Energieträgern

In der Modellierung werden weiters folgende Vereinfachungen gemacht: Es werden nur betriebliche wärmegeführte KWK-Anlagen modelliert, derzeit etwa in den Bereichen Stahl- und

Glaserzeugung existierende betriebseigene Anlagen zur Stromerzeugung (KWK-stromgeführt) jedoch nicht. Hier wird angenommen, dass diese über das Stromnetz bzw. aus den Stromgewinnen der betrieblichen wärmegeführten KWK versorgt werden. Aus diesem Grund wird der aus der betrieblichen KWK erzeugte Strom direkt mit den Abnehmern verbunden (vgl. Abbildung 25, roter Fluss aus Prozess „KWK – UEA – Wärmegeführt“). Bei kommunalen KWK Anlagen zur Strombereitstellung wird angenommen, dass die anfallende Wärme als Fernwärme genutzt werden kann.

Für die Modellierung ergibt sich folgende Charakteristik: Die innerbetriebliche wärmegeführte KWK wird in den erzeugten Mengen durch die Nachfrage an Prozessdampf bestimmt. Die stromgeführte kommunale KWK erzeugt benötigte Strommengen und speist diese in das Stromnetz. 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 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.

Die für die Modellierung gewählte Prozesscharakteristik der KWK Technologien basiert auf einer Zusammenstellung für die Internet-Plattform energytech.at vom Institut für thermische Turbomaschinen und Maschinendynamik Graz. (TTM 2002)

4.4.1 Betriebliche wärmegeführte KWK

Gewählte Gliederung dieses Bereichs

- Wärmegeführte Technologien: Gegendruckdampfturbine, Gasturbine mit Wärmerückgewinnung, Gas- und Dampfturbine (GuD), Organic Rankine Cycle (ORC)

Haupt-Datenquellen

(TTM 2002)

Eingabedaten

- Wirkungsgrade der jeweiligen Technologie (elektrisch und thermisch) [-]

Prozesspläne in diesem Bereich

- „KWK – UEA - Wärmegeführt“

Aufteilglieder

- Ein Aufteilglied zur Intensivierung bzw. Reduktion der einzelnen Technologien

Abbildung 26 zeigt den Prozessplan „KWK – UEA – Wärmegeführt“ bei den Grundeinstellungen. In weiterer Folge werden die in diesem Bereich implementierten Technologien und die Grundeinstellungen beschrieben.

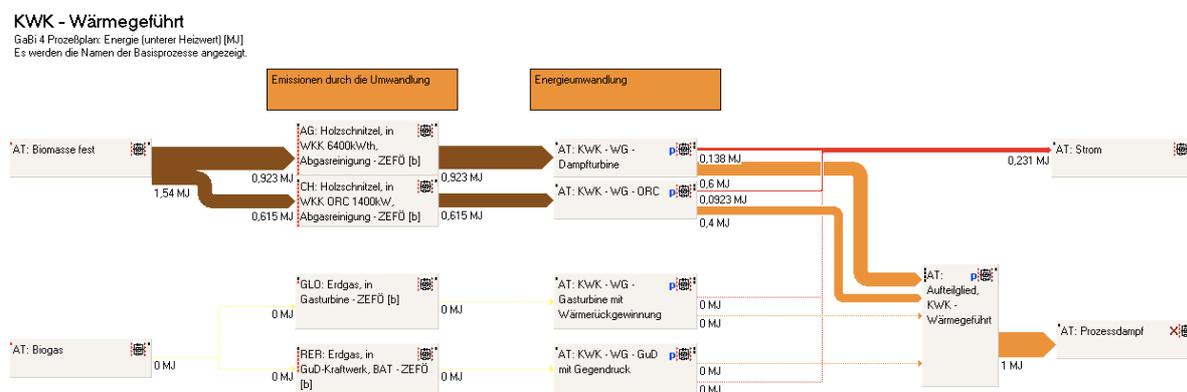


Abbildung 26: Prozessplan „KWK – UEA – wärmegeführt“

Gegendruckdampfturbine

Mit einer Gegendruckdampfturbine wird über einen Dampfturbinenprozess Strom und Wärme bereitgestellt. Das Arbeitsmittel Wasser wird in einem Kessel verdampft und durch einen Überhitzer in die Turbine gebracht. Dort verrichtet es mechanische Arbeit, die über einen Generator in Strom umgewandelt wird. Danach wird das Arbeitsmittel in einem Kondensator in den Ausgangszustand zurückgeführt und über eine Speisewasserpumpe wieder in den Kessel gebracht. Die im Kondensator ausgekoppelte Wärme kann in weiterer Folge genutzt werden. Bei der Ausführung als Gegendruckturbine wird der im Kessel erzeugte Heißdampf in der Turbine bis auf den sogenannten Gegendruck entspannt, der von der gewünschten Temperatur der ausgekoppelten Prozesswärme abhängt. Diese Form der Dampfturbine kann in wärme- und stromgeführter Betriebsweise eingesetzt werden. Es können prinzipiell alle

Brennstoffe eingesetzt werden, die in einem Kessel verbrannt werden können. Angewandt wird diese Technologie im Regelfall dort, wo ständig ein mehr oder weniger konstanter Wärmebedarf herrscht, wie dies in vielen Fällen in der Industrie der Fall ist. Oft werden mehrere Anlagen an einer Schiene nebeneinander betrieben, um jede Einzelanlage so gut wie möglich im optimalen Betriebspunkt zu nutzen, je nach benötigter Energiemenge. Es handelt sich dabei um eine ausgereifte Technologie, die heutzutage in großen Stückzahlen eingesetzt wird. Es lassen sich Wirkungsgrade von 10 bis 20 % elektrisch und zwischen 70 und 85 % gesamt mit diesen Anlagen erreichen.

Gasturbine mit Wärmerückgewinnung

Beim Gasturbinenprozess wird im Gegensatz zur Dampfturbine als Arbeitsmittel nicht Wasserdampf in die Turbine gebracht, sondern ein in einer Brennkammer erzeugtes Rauchgas. Dieses verrichtet in der Turbine mechanische Arbeit und treibt dadurch einen Generator zur Stromerzeugung und einen Verdichter an. Der Verdichter saugt Luft aus der Umgebung in die Brennkammer, wo durch Zugabe eines Brennstoffs über die Verbrennung wieder Rauchgas erzeugt wird.

Bei der Gasturbine mit Wärmerückgewinnung wird das aus der Turbine austretende Rauchgas zur Wärmebereitstellung herangezogen. Diese Technologie wird am besten wärmegeführt mit einem nicht zu stark schwankenden Wärmebedarf eingesetzt. Mögliche Brennstoffe für die Gasturbine sind Gas, Erdöl und Produktgase. Es handelt sich um eine weit verbreitete Technologie bei der elektrische Wirkungsgrade zwischen 25 und 30 % und gesamt zwischen 70 und 92 % erreicht werden.

Gas- und Dampfturbine (GuD)

Durch die Hintereinanderschaltung einer Gas- und einer Dampfturbine kann der elektrische Wirkungsgrad deutlich gesteigert werden. Die heißen Gasturbinenaustrittsgase werden zur Erzeugung von Dampf für die Dampfturbine genutzt. Dadurch können zwei Generatoren hintereinander geschaltet und die erzeugte Strommenge gesteigert werden. Der aus der Dampfturbine austretende Dampf wird zur Wärmebereitstellung genutzt.

GuD Anlagen werden in großen Leistungen ausgeführt und eingesetzt, wenn konstante Prozesswärme benötigt wird, wie dies z.B. in der Papierindustrie der Fall ist. Als Brennstoffe kommen auch hier Gas, Erdöl oder Produktgase in Frage. Es handelt sich um eine ausgereifte Technologie, mit der elektrische Wirkungsgrade bis zu 50 % und gesamt bis 85 % erreicht werden.

Organic Rankine Cycle (ORC)

Bei diesem Prozess handelt es sich um einen Dampfturbinenprozess. Als Arbeitsmedium wird aber statt Wasser ein organisches Arbeitsfluid eingesetzt. In vielen Fällen handelt es sich dabei um Iso-Pentan, Iso-Oktan, Toluol oder Silikonöl. Vorteil dieser organischen Fluide ist, dass sie bei geringeren Temperaturen verdampfen als Wasser und dadurch niedrigere Verbrennungstemperaturen erlauben. Um das Arbeitsmittel zu schonen, wird dieses nicht direkt in den Kessel gebracht sondern über einen zusätzlichen Thermoölkreislauf erwärmt. Das Arbeitsmittel wird wie beim herkömmlichen Dampfturbinenprozess in der Turbine entspannt und danach kondensiert. Über die Turbine wird ein Generator angetrieben und die bei der Kondensation anfallende Wärme wird ausgekoppelt.

Durch die niedrigeren Verbrennungstemperaturen kann feste Biomasse in diesen Anlagen gut eingesetzt werden. Diese werden daher speziell in der Holzindustrie angewandt, wo SNP und Abfälle aus der Produktion anfallen. Die anfallende Wärme wird u. a. für Trocknungsprozesse eingesetzt. ORC Anlagen besitzen meist mittlere Leistungen und erreichen elektrische Wirkungsgrade zwischen 10 und 20 % und gesamt bis 85 %. Die Technologie ist durch den schon langjährigen Einsatz v. a. in der Nutzung tiefer Geothermie heute marktreif.

Die für die betriebsinternen wärmegeführten KWK Prozesse in der Modellierung verwendeten Daten und Zusammenhänge sind in Tabelle 21 auf der folgenden Seite zusammengestellt.

Tabelle 21: Prozesscharakteristik wärmegeführter betriebsinterner KWK (Quelle: auf Basis (TTM 2002))

KWK - UEA - wärmegeführt		Wirkungsgrad [%]		
<i>Prozess</i>	<i>Input</i>	elektrisch	thermisch	Gesamt
Gegendruckdampfturbine	Biomasse fest	15	65	80
Gasturbine mit Wärmerückgewinnung	Biogas	30	57	87
GuD mit Gegendruck	Biogas	50	35	85
ORC	Biomasse fest	15	65	80
	<i>Outputs:</i>	Strom	Prozessdampf	

Für die Grundeinstellungen wird für den Einsatz der Technologien folgendes festgesetzt: Die Gegendruckdampfturbine erbringt 60 % des Bedarfs, ORC die anderen 40 %. Gasturbine und GuD sind für die Grundeinstellungen ausgeschaltet.

4.4.2 Kommunale stromgeführte KWK

Gewählte Gliederung dieses Bereichs

- Stromgeführte KWK Technologien: Gegendruckdampfturbine, Cheng-Cycle, BHKW Gasmotor

Haupt-Datenquellen

(TTM 2002)

Eingabedaten

- Wirkungsgrade der jeweiligen Technologie (elektrisch und thermisch) [-]
- Erzeugte Strommenge [PJ]

Prozesspläne in diesem Bereich

- „KWK – KoEVU - Stromgeführt“

Aufteilglieder

- Ein Aufteilglied zur Intensivierung bzw. Reduktion der einzelnen Technologien

Abbildung 27 zeigt den Prozessplan „KWK – EVU – Stromgeführt“ bei den Grundeinstellungen. In weiterer Folge werden die in diesem Bereich implementierten Technologien und die Grundeinstellungen beschrieben.

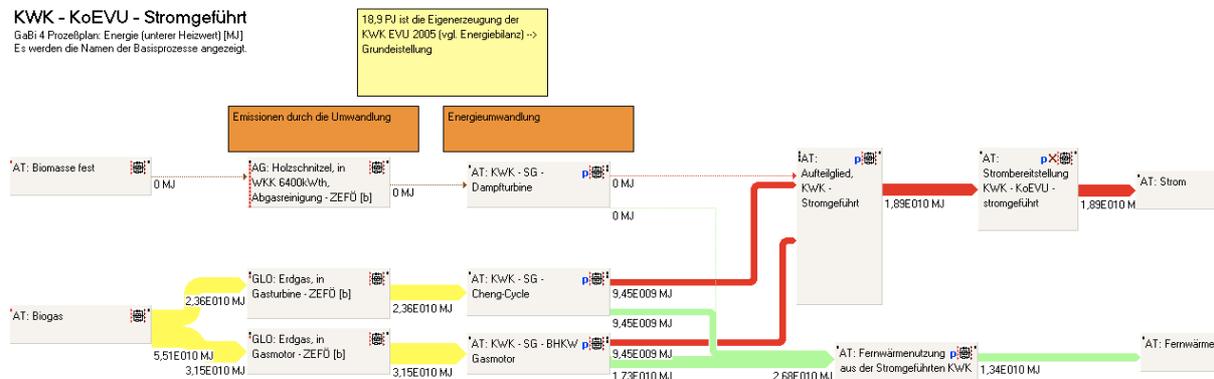


Abbildung 27: Prozessplan „KWK – KoEVU – Stromgeführt“

Gegendruckdampfturbine

Diese Technologie wird im Modell einerseits wärmegeführt und andererseits stromgeführt eingesetzt. Die Werte der Prozesscharakteristik ändern sich dadurch nicht. Für eine Beschreibung der Technologie siehe Kap. 4.4.1 Seite 95.

Cheng-Cycle

Bei der KWK mit Cheng-Cycle handelt es sich um eine Gasturbine mit Abwärmenutzung. Mit dem heißen Turbinenaustrittsgas wird Dampf erzeugt, der einerseits von einem Wärmeabnehmer genutzt wird und andererseits in die Brennkammer und in die Turbine eingespeist wird. Dadurch erhöht sich der elektrische Wirkungsgrad der Anlage deutlich. Es können große Leistungen bereitgestellt und ein variabler Strom- und Wärmebedarf bedient werden. Als Brennstoffe kommen auch hier Gas, Erdöl und Produktgas in Frage.

Durch die Dampfzufuhr in Brennkammer und Turbine können elektrische Wirkungsgrade von 40 % erreicht werden. Die Gesamtwirkungsgrade bewegen sich zwischen 70 und 85 %. Die Technologie ist ausgereift und in großer Stückzahl im Einsatz.

BHKW Gasmotor

Im Gasmotor wird durch die Verbrennung eines Gases eine Welle angetrieben die über einen Generator Strom bereitstellt. Die Abgase des Motors können zur Bereitstellung von Prozesswärme oder für Heizzwecke herangezogen werden. Ist ein Abnehmer von Wärme niedriger Temperaturen vorhanden, so kann zusätzlich das Motorkühlwasser thermisch genutzt werden. Gasmotoren werden vor allem als Blockheizkraftwerke (BHKW) ausgeführt. Das bedeutet, dass die gesamte Anlage mit meist kleinen Leistungen als Modul gebaut wird. Zur Anpassung der jeweils benötigten Leistungen werden dann ein oder mehrere Anlagen parallel betrieben. Dadurch kann die einzelne Anlage auch meist in einem günstigen Wirkungsgradbereich nahe der Volllast betrieben werden. Anwendung findet diese Technologie derzeit etwa in Krankenhäusern. Es können elektrische Wirkungsgrade zwischen 28 und 31 % und gesamt etwa 80 bis 88 % erreicht werden. Die Technologie ist ausgereift und weltweit stark verbreitet.

Eine Zusammenfassung der in das Modell implementierten Prozesscharakteristik der stromgeführten KWK zeigt Tabelle 22.

Tabelle 22: Prozesscharakteristik der KWK Kommunaler EVUs (Quelle: auf Basis (TTM 2002))

KWK - KoEVU - stromgeführt		Wirkungsgrad [%]		
<i>Prozess</i>	<i>Input</i>	elektrisch	thermisch	Gesamt
Gegendruckdampfturbine	Biomasse fest	15	65	80
Cheng-Cycle (STIG)	Biogas	40	40	80
BHKW-Gasmotor	Biogas	30	55	85
	<i>Outputs:</i>	Strom	Fernwärme	

Für die Grundeinstellungen wird für den Einsatz der Technologien folgendes festgesetzt: Der Cheng-Cycle und der BHKW-Gasmotor versorgen zu gleichen Teilen den gesamten vorgesehenen Strombedarf. Die Gegendruckdampfturbine ist aufgrund des schlechteren elektrischen Wirkungsgrades für die Grundeinstellungen ausgeschaltet.

Im Jahr 2005 wurden über KWK Anlagen der EVUs etwa 18,9 PJ Strom erzeugt.(Statistik Austria 2008 C) Dies wird für die Grundeinstellungen übernommen.

4.4.3 Kommunale Heizwerke

Gewählte Gliederung dieses Bereichs

- Biomasse Heizwerk

Haupt-Datenquellen

(Kranzl, et al. 2008)

Eingabedaten

- Wirkungsgrad Biomasse Heizwerk [-]

Prozesspläne in diesem Bereich

- „HW - Kom“

Aufteilglieder

- keine

Ein Heizwerk wird dadurch charakterisiert, dass durch Verbrennung Wärme erzeugt wird und sich dieses nicht in unmittelbarer Umgebung des Verbrauchers befindet. (Schramek 2007, 360) Die erzeugte Wärme wird meist über ein Nahverteilungsnetz zum Verbraucher gebracht. In der Modellierung wird die Distribution durch derartige Netze auf der Bedarfsseite gerechnet (s. Kap. 4.5.1.2., Seite 114).

In Heizwerken können verschiedene Brennstoffe zum Einsatz kommen wie Öl, Gas, Pellets oder Hackgut. Der Jahresnutzungsgrad solcher Anlagen erreicht zwischen 80 und 90 %. (Kranzl, et al. 2008, 69) In der Modellierung werden nur Heizwerke betrachtet, die feste biogene Brennstoffe einsetzen und als Jahresnutzungsgrad wird ein Wert von 85 % verwendet.

Da im Bereich Heizwerke nur ein Prozess implementiert ist wird auf die Darstellung des Prozessplanes „HW – Kom“ verzichtet.

4.5 Endenergetischer Bedarf an Energieträgern

In den folgenden Unterkapiteln wird der derzeitige Bedarf an Energieträgern zur endenergetischen Nutzung in Österreich bzw. deren Abbildung im Modell beschrieben. Um realistische Struktur- und Technologieänderungen im Energiebedarf abbilden zu können, muss untersucht werden für welchen Zweck welcher Energieträger in welcher Menge benötigt wird.

In der Energiebilanz erfolgt eine Aufteilung des endenergetischen Einsatzes einerseits nach Wirtschaftssektoren (Landwirtschaft, Sachgüterproduktion, Transport, Dienstleistungsbereich und private Haushalte), andererseits versucht man diesen auch der Art des daraus erzeugten Nutzens zuzuteilen. Diese sogenannten Nutzenergiekategorien sind Verkehr, Raumheizung/Klimaanlagen/Warmwasser, Beleuchtung & EDV, Dampferzeugung, Industrieöfen, Standmotoren und elektrochemische Zwecke (vgl. Statistik Austria 2008 C). Für die Modellierung erfolgte eine Einteilung des endenergetischen Einsatzes in vier Bereiche die sich an den Nutzenergiekategorien der Energiebilanz orientieren. Teilweise wurden dabei Nutzenergieformen anders zugeteilt. Die folgende Auflistung gibt einen Überblick, eine detaillierte Beschreibung der Bereiche erfolgt im jeweiligen Unterkapitel:

- Raumwärme und Warmwasser (Raumwärme/Warmwasser)
- Mobilität und Antriebe (Verkehr, Standmotoren)
- Prozesswärme (Industrieöfen, Dampferzeugung)
- Stromeinsatz (Beleuchtung & EDV, Elektrochemische Zwecke, Klimaanlagen)

Die Positionierung und Verknüpfung dieser Bereiche auf dem Prozessplan „Energiesystem“ im Modell ist in Abbildung 28 auf der folgenden Seite vergrößert dargestellt.

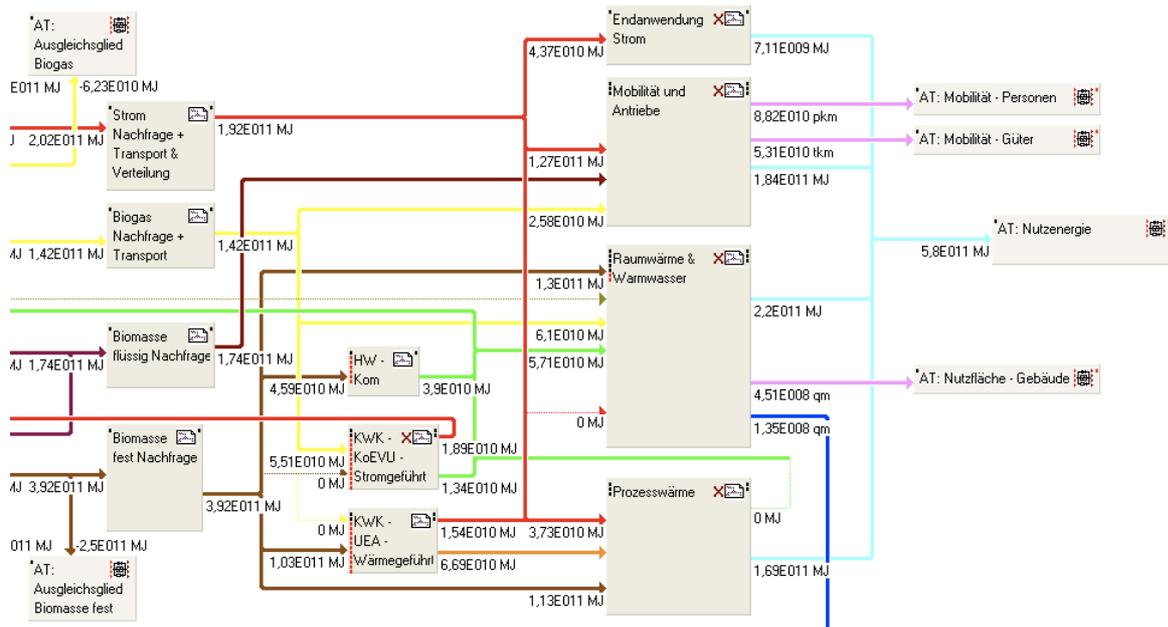


Abbildung 28: Ausschnitt aus dem Prozessplan „Energiesystem“, Bedarf an Energieträgern

Ganz links befinden sich die vier Blöcke der zur Bilanzierung herangezogenen Energieträger, rechts daneben die drei Blöcke der großtechnischen Umwandlung. Wieder rechts daneben von oben nach unten erstrecken sich die vier Blöcke der gewählten Bedarfsbereiche und ganz rechts die Blöcke zur Ausweisung der gesamten Nutzenergie und der assoziierten Größen „beheizte Wohnflächen“ und „Güter-“ bzw. „Personenverkehrsleistungen“.

Bereiche, in denen ein großes Potential zur Effizienzsteigerung bzw. Bedarfssenkung zu erwarten ist werden auf Basis der nachgefragten Energiedienstleistungen modelliert. Dies betrifft die Bereiche Raumwärme & Warmwasser und Verkehr²³. Hier kann der Bedarf flexibel über verschiedene Technologiekombinationen gedeckt werden. Auch erfolgt eine tiefere Gliederung dieser 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 verwendet, die in den jeweiligen Unterkapiteln näher erläutert

²³ Siehe dazu auch Kapitel 1.2 Die Energiebedarfs- und Versorgungssituation Österreichs 2005, Seite 8 bzw. die entsprechenden Unterkapitel der Bedarfsseite

werden. Stromanwendungen und Prozesswärme werden über die derzeit nachgefragten Nutzenergiemengen in das Modell implementiert. Hier werden für diese Untersuchung anwendungs- und energieträgerspezifische Wirkungsgrade der Technologien verwendet.

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. Das betrifft einen Teil der Nichtwohngebäude, Schifffahrt, Flugverkehr und Öfen, die im Prozess einen direkten Kontakt mit Kohle benötigen.

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

4.5.1 Raumwärme und Warmwasser

Gewählte Gliederung dieses Bereichs

- Raumwärme und Warmwasser (RW & WW) in zwei Siedlungsdichten
- Ein- und Zweifamilienhäuser (EFH), Mehrfamilienhäuser (MFH) und Nichtwohngebäude (NWG) in zwei Siedlungsdichten
- Bauperioden bei EFH und MFH
- WW der Haushalte über die Einwohner in den Häusern (EFH, MFH) in den beiden Siedlungsdichten
- Technologien zur Bereitstellung: Wärmepumpe, Hackschnitzel-, Pellets-, Scheitholzheizung, Gaskessel, Fernwärme, Solarthermie (ST)
- Berücksichtigung verschiedener Technologien für unterschiedlich große Gebäude
- Berechnung der auf diesen Gebäuden für energetische Nutzung zur Verfügung stehenden Dachfläche

Haupt-Datenquellen

(Haas, et al. 2007), (Statistik Austria 2008 F), (Schramek 2007), ECOINVENT, (Lang 2007)

Eingabedaten

- Wohnnutzfläche nach Siedlungsdichte, Hausgröße und Bauperiode [m^2]
- Umrechnungsfaktoren Wohnnutzfläche (WNF) zu Bruttogeschosßfläche (BGF) [-]
- Heizwärmebedarf (HWB) [kWh/m^2a]
- Anteil beheizte Flächen [-]
- Einwohner nach Siedlungsdichte und Hausgröße [-]
- Distributionsverluste im Heizungs- und Warmwassersystem [-]
- Aufteilung Dachfläche auf ST und PV
- Anteil Dachflächen für ST genutzt

Prozesspläne in diesem Bereich

- „Raumwärme & Warmwasser“
- „RW&WW Stadt“ und „RW&WW Land“, darin enthalten:
 - je ein Plan für den Bedarf EFH, MFH, NWG
 - je ein Plan für Bereitstellung EFH, MFH, NWG (Technologie-Mix)
 - Solarthermie
- In den Technologie-Mix je ein Plan für
 - Wärmepumpe EFH, Hackschnitzelheizung EFH, Pelletsheizung EFH, Scheitholzheizung EFH, Fernwärme EFH
 - Heizkessel Gas EFH/MFH/NWG
 - Wärmepumpe MFH/NWG, Fernwärme MFH/NWG

Aufteilglieder

- In jedem Technologie-Mix ist ein Aufteiglied zur Forcierung oder Reduktion des Einsatzes der verschiedenen Technologien

Im Jahr 2005 wurden in Österreich 331 PJ an Energieträgern für die Bereitstellung von Raumwärme, Warmwasser (ohne Haushalte) und Versorgung von Klimaanlage gebraucht. Das sind knapp 30 % des gesamten Endenergiebedarfs. Bei der Umwandlung der Energieträger in Nutzenergie ergeben sich nach den Faktoren der Nutzenergieanalyse (NEA) etwa 25 % Verluste (vgl. Energieflussbild), was auf eine relativ effiziente Umwandlung hindeutet.

Betrachtet man andererseits die thermische Qualität der in Österreich vorhandenen Gebäude, so ergibt sich beispielsweise für die Wohngebäude ein durchschnittlicher Heizwärmebedarf (HWB) von etwa 140 kWh/m²a. (Lang 2007, 11) Mit heutzutage zur Verfügung stehenden Mitteln ist es möglich Gebäude mit einem HWB von 15 kWh/m²a und darunter zu bauen. Grob gerechnet würde das eine Einsparung von fast 90 % der in diesem Bereich benötigten Energie bedeuten, ein enormes Einsparungspotential.

Für diese Untersuchung wird der Energiebedarf für die Bereitstellung von Raumwärme und Warmwasser zusammen modelliert, da dafür ähnliche und oft die gleichen Bereitstellungstechnologien in Frage kommen bzw. angewendet werden.

Da es sich in beiden Fällen um Wärme handelt muss in der Modellierung sichergestellt werden, dass diese am Ort des Verbrauchs zur Verfügung steht. In verdichteten Siedlungsbereichen ist es beispielsweise möglich, die Wärme zentral zu erzeugen und danach über ein Nahverteilungsnetz an den Ort des Bedarfs zu bringen. Bei nur vereinzelt stehenden Häusern am Land ist dies wenig sinnvoll. Daraus ergibt sich die Notwendigkeit, verschiedene Siedlungsdichten zu betrachten. In Abbildung 29 auf der folgenden Seite ist der Prozessplan „Raumwärme & Warmwasser“ dargestellt, auf dem die Umwandlung von Endenergie (braun, gelb, grün) in Nutzenergie (türkis) für die in dieser Untersuchung gewählten Siedlungsdichten Stadt und Land getrennt ausgewiesen wird.

Raumwärme & Warmwasser
 GaBi 4 Prozessplan: Energie (unterer Heizwert) [MJ]
 Es werden die Namen der Basisprozesse angezeigt.

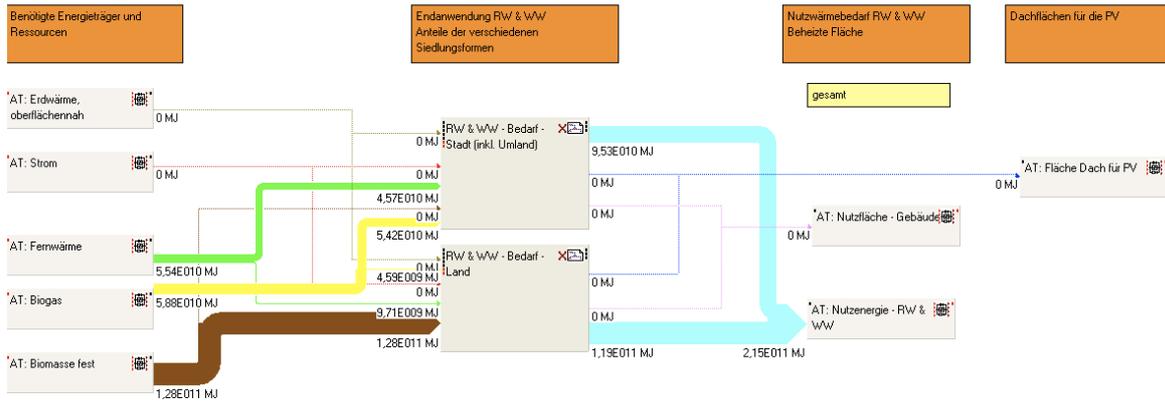


Abbildung 29: Prozessplan „Raumwärme & Warmwasser“

Die Technologien zur Bereitstellung von Wärme für RW & WW unterscheiden sich nicht nur nach Größe und Dichte der Siedlung, sondern auch nach der Größe der zu versorgenden Einheit. Ein Einfamilienhaus kann mit einer kleineren Heizung (Leistung) versorgt werden als ein großes Mehrfamilienhaus. Daher muss auch darauf in der Modellierung eingegangen werden. Abbildung 30 zeigt den auf der nächst tieferen Ebene des Modells gelegenen Prozessplan „RW & WW – Stadt“.

RW & WW - Bedarf - Stadt (inkl. Umland)
 GaBi 4 Prozessplan: Energie (unterer Heizwert) [MJ]
 Es werden die Namen der Basisprozesse angezeigt.

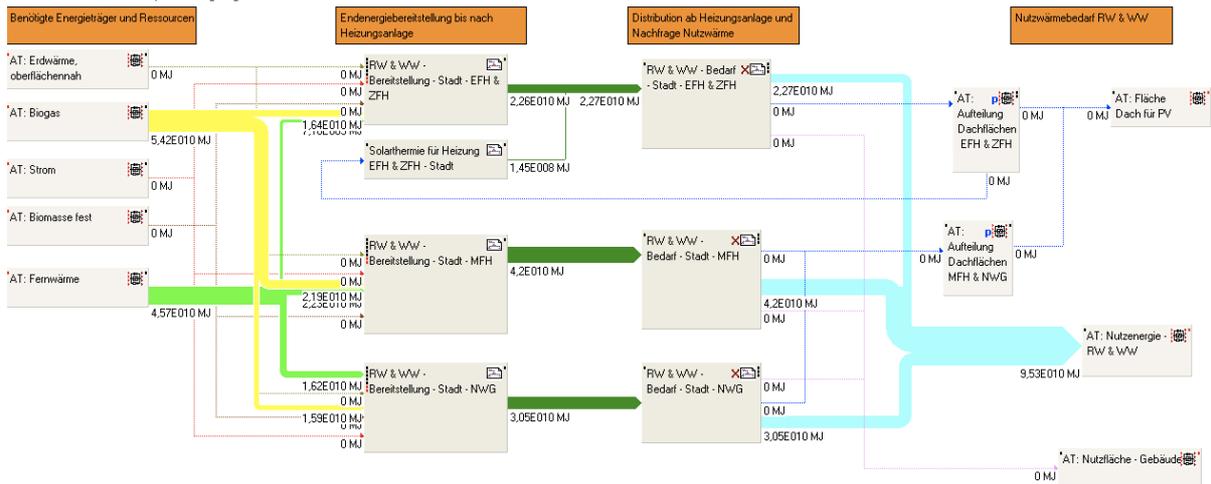


Abbildung 30: Prozessplan „RW & WW – Stadt“

Darauf ist die Umwandlung von Endenergie in Nutzenergie detaillierter dargestellt. Unterschieden werden dabei Wohngebäude (Einfamilienhäuser und Mehrfamilienhäuser) und Nichtwohngebäude. Der Wärmebedarf dieser Gebäude wird separat berechnet und aus den links daneben liegenden Technologieblöcken, in weiterer Folge Technologie-Mix genannt, gedeckt. Diese wiederum benötigen dafür Endenergie in Form von Energieträgern. Zu erkennen ist in diesem Plan eine Besonderheit der Modellierung dieses Bereiches. Für Einfamilienhäuser (in der Abbildung oben dargestellt) wird im Gegensatz zu den anderen Gebäudetypen die Solarthermie (ST) zur Bereitstellung von Wärme modelliert. Diese wird nicht in das Technologie-Mix integriert. Das ist deshalb der Fall, da die ST direkt mit den auf diesen Gebäuden zur Verfügung stehenden energetisch nutzbaren Dachflächen verbunden ist. Als Folge ist bei der Handhabung des Modells zu bedenken: **Der Technologie-Mix der Einfamilienhäuser deckt den Teil des Wärmebedarfs der nicht durch die Solarthermie gedeckt ist.**

Im Folgenden werden zunächst die Blöcke erläutert, die den Bedarf an Wärme und die zur Verfügung stehenden energetisch nutzbaren Dachflächen errechnen. Danach wird auf die Technologien zur Bereitstellung der Wärme aus den Energieträgern eingegangen.

4.5.1.1 Bedarfsstruktur Raumwärme und Warmwasser und Berechnung und Zuweisung der energetisch nutzbaren Dachflächen

Der Wärmebedarf für Wohngebäude und Nichtwohngebäude wird in der Modellierung unterschiedlich berechnet. Zunächst werden Wohngebäude betrachtet, dann Nichtwohngebäude und schließlich, die auf diesen Gebäuden vorhandenen energetisch nutzbaren Dachflächen.

Raumwärme und Warmwasser in Wohngebäuden

Der Raumwärmebedarf von Gebäuden hängt von deren bauphysikalischen Eigenschaften ab. Aus welchen Materialien diese hergestellt sind und wie und ob diese thermisch gedämmt sind spielt eine entscheidende Rolle. Durchschnittlich lässt sich die thermische Qualität eines Gebäudes des heutigen Gebäudestandes mit dem Zeitraum der Errichtung des jeweiligen Gebäudes (Bauperiode) in Verbindung bringen. In einer Studie von Lang (Lang 2007) wurde der spezifische HWB für EFH und MFH nach sechs verschiedenen Bauperioden erhoben. Die-

ser HWB bezieht sich auf die sogenannte Bruttogeschoßfläche (BGF). Für die Berechnung der gesamt benötigten Heizwärme werden Daten zu den Wohnnutzflächen (WNF) der Statistik Austria herangezogen. (Statistik Austria 2008 F) Daher müssen die WNF in BGF umgerechnet werden. Dies erfolgt mit Faktoren, die ebenfalls in Lang (Lang 2007) angegeben sind.

Die Daten zu den WNF der Statistik Austria beziehen sich auf ähnliche Bauperioden wie die bei Lang verwendeten. Hier ist eine Umrechnung unproblematisch, da die Struktur der Statistik Austria lediglich etwas genauer ist. Weiters sind diese aufgeschlüsselt nach der Anzahl der Wohnungen, die in den Gebäuden vorhanden sind. Hier wurden für die Modellierung Gebäude mit ein und zwei Wohnungen zusammengefasst. Gebäude mit mehr als drei Wohnungen wurden zur Kategorie Mehrfamilienhäuser gerechnet.

Eine Aufteilung der Gebäude auf Städte und ländlichen Bereich erfolgte ebenfalls über Daten der Statistik Austria. Gebäude in Gemeinden unter 20.000 Einwohnern wurden als ländlicher Raum angesehen, alles darüber als Städte. Betrachtet man die Anzahl der Wohnungen und teilt sie nach dieser Struktur, so ergibt sich ein Anteil von knapp 70 % in Städten und 30 % auf dem Land. Eine Verteilung der Einwohner Österreichs auf Ballungsräume und ländliche Bereiche zeigt in etwa die gleichen Anteile (65 % Ballungsräume). (VCÖ 2008) Daher wird diese Aufteilung als gute Näherung betrachtet.

Eine Verteilung der EFH und MFH in Städten und im ländlichen Raum erfolgte für diese Studie willkürlich. Durch die Annahme, dass in Städten etwa 30 % EFH und 70 % MFH vorhanden sind, ergibt sich für ländliche Bereiche ein Verhältnis von 90 % EFH und 10 % MFH. Diese Werte scheinen tendenziell richtig.

Eine Zusammenfassung der erläuterten Daten zeigt die auf der nächsten Seite folgende Tabelle 23.

Tabelle 23: Wohnhäuser, Be- & Zustand, nach Siedlungsdichte & Bauperiode, Einwohner (Quelle: eigene Berechnungen auf Basis(Statistik Austria 2008 F), (Lang 2007), (VCÖ 2008))

Haustyp	Ein- & Zweifamilienhäuser (EFH)			
	HWB	BGF/WNF	Stadt	Land
Bauperiode	[kWh/m ² *a]	[-]	WNF	WNF
			1.000*[m ²]	1.000*[m ²]
vor 1919	160	1,15	8.263	22.975
1919-1944	170	1,15	4.339	9.800
1945-1980	200	1,15	18.586	80.255
1981-1990	130	1,16	4.344	27.553
1991-2001	100	1,17	5.362	30.176
2001-2007	60	1,20	2.033	10.498
Einwohner:			1.620.600	2.636.100

Haustyp	Mehrfamilienhäuser (MFH)			
	HWB	BGF/WNF	Stadt	Land
Bauperiode	[kWh/m ² *a]	[-]	WNF	WNF
			1.000*[m ²]	1.000*[m ²]
vor 1919	130	1,12	19.281	2.915
1919-1944	140	1,12	10.125	453
1945-1980	145	1,12	43.367	7.390
1981-1990	100	1,14	10.137	4.062
1991-2001	80	1,15	12.512	6.126
2001-2007	45	1,18	4.744	2.163
Einwohner:			3.781.400	292.900

Die verwendeten Daten spiegeln die gesamt in Österreich vorhandenen WNF wider. Da in den einzelnen Wohnungen und Häusern nicht die gesamte Wohnfläche beheizt wird, muss hier noch mit einem Faktor der beheizte Anteil errechnet werden. Aus den Berechnungen zum Niederösterreichischen Klimaprogramm im Bereich Raumwärme ergab sich ein Anteil von 63 %. (AEA 2008)

Zur Berechnung des Warmwasserbedarfs in Wohngebäuden wird der durchschnittliche Bedarf pro Person und Tag herangezogen. Dieser beträgt zwischen 30 und 60 Liter bei 40 bis 60 °C. (Schramek 2007, 1728) Für die Modellierung wird ein Mittelwert von 45 Litern mit 50 °C angenommen. Damit kann über die spezifische Wärmekapazität des Wassers und einer angenommenen Ausgangstemperatur von 10 °C die zur Erwärmung benötigte Energiemenge berechnet werden.

Die Distributionsverluste in den Rohrleitungen von der Heizanlage bis zum Ort des Verbrauchs werden mit 10 % geschätzt. (Schramek 2007, 959)

Abbildung 31 zeigt den Prozessplan „RW & WW – Bedarf – Stadt – EFH“, wobei in der Mitte die Blöcke der Gebäude aus den unterschiedlichen Bauperioden zu sehen sind, links die benötigte Wärmemenge ab Heizanlage und rechts die resultierende Nutzenergie.

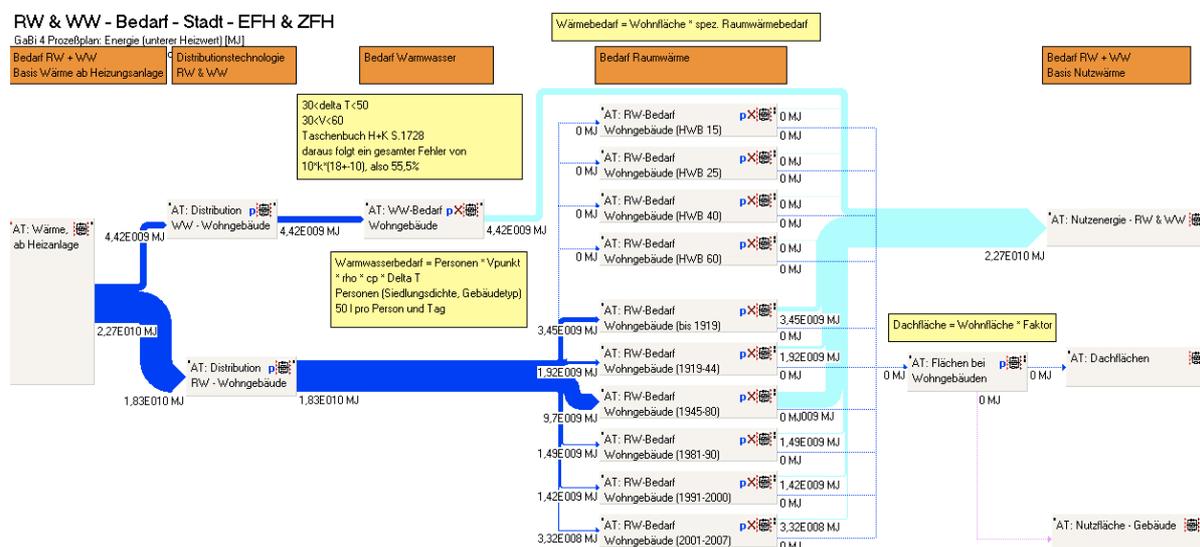


Abbildung 31: Prozessplan „RW & WW - Bedarf – Stadt - EFH“

Raumwärme und Warmwasser in Nichtwohngebäuden

Im Bereich der Nichtwohngebäude (NWG) gibt es bedeutend weniger verfügbare Daten. Für die Modellierung werden hier Gebäudedaten aus einer Studie des EEG der TU Wien herangezogen, wobei Schulen, Krankenhäuser, Sportanlagen, Hotels, Büros und Handelsgebäude einfließen (Haas, et al. 2007). Es werden mittlere Fläche dieser NWG und die dazugehörige Anzahl angegeben. Daraus werden die Gesamtflächen der jeweiligen NWG errechnet. Mit spezifischen Verbrauchswerten für Raumwärme- und Warmwasserbedarf entsprechender NWG in Deutschland (BMVBS 2007) wird daraus der Wärmebedarf für NWG errechnet. Für alle betrachteten NWG ergibt sich eine Fläche von 106 Mio. m², ein mittlerer spezifischer Bedarf von knapp 160 kWh/m²a und gesamt werden in diesem Bereich jährlich 61,1 PJ Wärme benötigt. Eine Verteilung der NWG auf Städte und ländlichen Raum erfolgte über die in den beiden Bereichen jeweils lebende Bevölkerung im Verhältnis 65 zu 35 (s. Raumwärme und Warmwasser in Wohngebäuden).

Für Wohn- und Nichtwohngebäude ergibt sich bei den beschriebenen Einstellungen das in Tabelle 24 dargestellte Bedarfsmuster.

Tabelle 24: Wärmebedarf RW & WW bei beschriebenen Einstellungen

Wärmebedarf [PJ/a]	Stadt		Land	
	RW	WW	RW	WW
EFH	18,3	4,4	74,9	7,2
MFH	31,7	10,3	6	0,8
NWG	39,6		21,5	

In der Energiebilanz ist für das Jahr 2005 ein Nutzenergiebedarf im Bereich Raumheizung/Klimaanlagen/Warmwasser von 248 PJ/a ausgewiesen (vgl. Energieflussbild). Darunter sind der Raumwärmebedarf aller Gebäude, die Klimatisierung aller Gebäude und das Warmwasser aller NWG zusammengefasst. Das Warmwasser der Haushalte fällt in der Energiebilanz unter die Kategorie Industrieöfen (Bittermann 2007, 9).

In der Modellierung ergibt sich ein Wert von 192 PJ/a Nutzenergie bei den beschriebenen Einstellungen. Diese Differenz hat verschiedene Gründe: Betriebsgebäudebeheizung, Warmwasser, Trocknung, Belüftung und Kühlung in der Landwirtschaft sind nicht in die Modellierung eingeflossen, in der Energiebilanz fällt die dafür benötigte Energie aber in diese Kategorie (Bittermann 2007, 10). Auch beheizte Werkstätten und Industriegebäude werden aufgrund fehlender Daten in der Modellierung nicht betrachtet. Des Weiteren sind die spezifischen Energiebedarfswerte aus dem Bereich NWG aus einer Quelle für deutsche Gebäude, was ebenfalls zu Unsicherheiten führt.

Die sich in der Modellierung ergebenden Werte für den Warmwasserbedarf der Haushalte werden in der Kategorie Industrieöfen in weiterer Folge abgezogen. In Summe handelt es sich dabei um 22,7 PJ Nutzenergie jährlich.

Energetisch nutzbare Dachflächen

Die energetisch nutzbaren Dachflächen auf den betrachteten Gebäuden werden über ein Verhältnis zwischen Dachfläche und Wohnnutzfläche, abhängig von der Gebäudegröße und einem Anteil für gute solare Einstrahlung berechnet. Es wird angenommen, dass das Verhältnis aus nutzbarer Dachfläche und Wohnnutzfläche bei Ein- und Zweifamilienhäusern 0,6 ist. Das entspricht einem einstöckigen würfelförmigen Gebäude mit Giebeldach und guter

baulicher Nutzbarkeit und Ausrichtung. Bei Mehrfamilienhäusern und Nichtwohngebäuden wird dieser Faktor mit 0,24 angenommen, was einem fünfstöckigen Gebäude mit guter Nutzbarkeit entspricht. Eine grobe Rechnung für dieses Verhältnis für alle Gebäudetypen wird von der IEA mit 0,4 angegeben (IEA 2002).

Diese Dachflächen werden zwischen PV und ST aufgeteilt. Bei den EFH wird das Verhältnis mit 60 % PV und 40 % ST festgelegt. Bei MFH und NWG werden die gesamten Flächen der PV gewidmet, da in diesem Bereich keine ST modelliert wird (vgl. folgendes Kapitel).

4.5.1.2 Technologien zur Bereitstellung von Raumwärme und Warmwasser

Technologie-Mix

Bei der Bereitstellung der nachgefragten Wärme aus den Bereichen Raumwärme und Warmwasser wird ein sogenannter Technologie-Mix verwendet. Darunter sind Pläne zu verstehen, auf denen alle in das Modell eingeflossenen Technologien, die zur Deckung dieses Bedarfs in Frage kommen, zusammengefasst sind. Eine Ausnahme bildet, wie schon in der Einleitung zu diesem Kapitel erwähnt, die Solarthermie (ST). Diese ist direkt mit den dafür in Frage kommenden Dachflächen verbunden und kann deshalb nicht im Technologie-Mix modelliert werden. Dies ist bei den Einstellungen des jeweiligen Technologie-Mix für den Einfamilienhausbereich (EFH) zu bedenken. Derzeit ist im Modell die Nutzung von ST nur für die EFH implementiert, da bei MFH und NWG eine Nutzung großteils nur zur Bereitstellung von Warmwasser ausreichend Wärme bringt, nicht aber für die Raumheizung. Den Aufbau eines Technologie-Mix zeigt Abbildung 32 Seite 115.

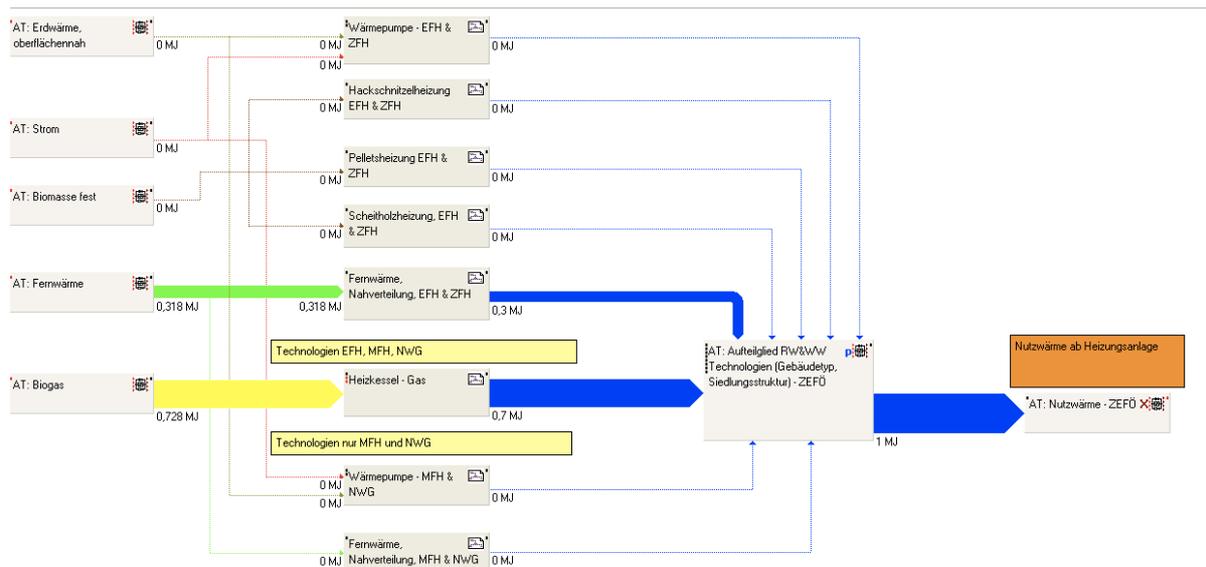


Abbildung 32: Prozessplan „Technologie-Mix RW & WW – Stadt - EFH“

Auf der linken Seite der Abbildung sind die benötigten Energieträger untergebracht. Rechts daneben die Blöcke der unterschiedlichen Technologien, deren Outputs in einem Aufteilglied zusammenkommen und danach als Nutzwärme ab Heizungsanlage ausgegeben werden. Über das Aufteilglied können nun die Anteile der verschiedenen Technologien an der Deckung des Wärmebedarfs der unterschiedlichen Gebäudetypen eingestellt und für eine Szenarienanalyse variiert werden. Für jeden Gebäudetyp (EFH, MFH, NWG) in den beiden Siedlungsdichten (Land, Stadt) gibt es einen eigenen Technologie-Mix, der separat eingestellt wird. In Summe also sechs Technologie-Mix-Pläne, auf denen die gleichen Technologien untergebracht sind, aber in unterschiedlicher Intensität zur Deckung des jeweiligen Bedarfs beitragen.

Folgende Technologien werden modelliert: Wärmepumpe (für EFH und für MFH/NWG), Fernwärme (EFH und MFH/NWG), Hackschnitzelheizung (EFH), Pelletsheizung (EFH), Scheitholzheizung (EFH) und Gasheizung (EFH/MFH/NWG). Eine Übersicht über die Charakteristik der verschiedenen Technologien gibt Tabelle 25 auf der nächsten Seite.

Tabelle 25: Technologien zur Bereitstellung von Wärme (Quelle: ECOINVENT)

Technologien Wärmebereitstellung (Wärme ab Heizanlage)	Input		Output
	Energieträger	[MJ]	Wärme [MJ]
Technologien EFH			
Wärmepumpe Luft-Wasser	Strom	0,36	1
Wärmepumpe Sole-Wasser	Strom	0,26	1
Hackschnitzelheizung	Biomasse fest	1,25	1
Pelletsheizung	Biomasse fest	1,22	1
Scheitholzheizung	Biomasse fest	1,33	1
Fernwärme (Nahverteilungsnetz)	Fernwärme	1,06	1
Technologien EFH/MFH/NWG			
Heizkessel-Gas	Biogas	1,04	1
Technologien MFH/NWG			
Wärmepumpe Sole-Wasser	Strom	0,22	1
Fernwärme (Nahverteilungsnetz)	Fernwärme	1,06	1

Die Technologieprozesse werden aus der ECOINVENT Datenbank entnommen. Dabei sind neben den in der Tabelle ausgewiesenen Wirkungsgraden auch Daten für die im Lebenszyklus anfallenden Aufwendungen und Emissionen in den Prozessen enthalten. Diese können über eine Bilanz ausgewiesen werden. Eine Betrachtung findet in dieser Studie nicht statt.

Für die bei der Verteilung der Fernwärme anfallenden Verluste wird angenommen, dass die Fernwärmequelle sich in der Nähe des Verbrauchers befindet. Als Fernwärmequellen werden im Modell einerseits Heizwerke und stromgeführte KWK Anlagen modelliert. Andererseits wird auch die bei industrieller Prozessdampfnutzung anfallende Abwärme teilweise als Fernwärme ausgekoppelt und nachgenutzt. Daher wird für die Modellierung angenommen, dass die Entfernungen zwischen derartigen Industriebetrieben und potentiellen Fernwärmeabnehmern eine Distribution über ein Nahverteilungsnetz erlauben.

Bei den Wärmepumpen wird die aus der Umgebung entnommene Wärme neben dem dafür benötigten Strom auf der Inputseite der Prozesse als „Erdwärme oberflächennah“ ausgewiesen.

Die folgende Tabelle 26 gibt die Grundeinstellungen für die Anteile der verschiedenen Technologien an der Bedarfsdeckung aus diesem Bereich an.

Tabelle 26: Grundeinstellungen der Anteile der verschiedenen Technologien an der Bedarfsdeckung im Bereich Raumwärme und Warmwasser

Einstellungen Aufteilglieder	Stadt			Land		
	EFH	MFH	NWG	EFH	MFH	NWG
Technologien EFH						
Wärmepumpe Luft-Wasser	0	0	0	0	0	0
Wärmepumpe Sole-Wasser	0	0	0	0	0	0
Hackschnitzelheizung	0	0	0	0,2	0,3	0,4
Pelletsheizung	0	0	0	0,4	0,2	0,2
Scheitholzheizung	0	0	0	0,4	0,3	0
Fernwärme	0,3	0	0	0	0	0
Technologien EFH/MFH/NWG						
Heizkessel-Gas	0,7	0,5	0,5	0	0,2	0,1
Technologien MFH/NWG						
Wärmepumpe Sole-Wasser	0	0	0	0	0	0
Fernwärme	0	0,5	0,5	0	0	0,3

Anzumerken ist in diesem Zusammenhang, dass diese Einstellungen an die heutige Situation angenähert, aber dennoch fiktiv sind. Dies ist deshalb so, da heutzutage eingesetzte Technologien auf Basis fossiler Energieträger nur teilweise in die Modellierung eingeflossen sind. So ist z.B. ein Gaskessel modelliert, Ölheizungen, die heutzutage etwa 28 % Anteil an der Bedarfsdeckung besitzen (vgl. Energiebilanz) sind in die Modellierung aber nicht eingeflossen, da sich schon bald zeigte, dass kaum flüssige biogene Energieträger verfügbar sind und diese eher in der Mobilität gebraucht werden als zur Gebäudebeheizung. Daraufhin erfolgte eine Adaptierung der Grundsituation in folgender Weise: Öl- und kohlebetriebene Heizkessel sowie Stromdirektheizungen werden im ländlichen Bereich durch Heizkessel für feste Biomassebrennstoffe ersetzt. In Städten wird der Anteil der Fernwärme in MFH und NWG erhöht und zusätzlich verstärkt Biogas eingesetzt um Kohle, Öl und Strom zu substituieren.

Solarthermie

Die Solarthermie wird für diese Studie nur für den Anwendungsbereich Raumwärme- und Warmwasserbereitstellung bei Einfamilienhäusern modelliert. Dabei kommen heutzutage aus Kostengründen fast ausschließlich verglaste Flachkollektoren zum Einsatz. Daher wird auch nur diese Technologie implementiert.

Im Jahr 2007 waren in Österreich rund 3,6 Mio. m² Solarkollektoren installiert. 2,9 Mio. m² waren verglaste Flachkollektoren, 0,6 Mio. m² unverglaste Flachkollektoren zur Schwimmba-

derwärmung und der Rest Vakuumkollektoren. (Biermayr, et al. 2008, 30) Verglaste Flachkollektoren erzeugen in Österreich durchschnittlich 350 kWh/m²a Wärme. (Faninger 2004, 13) Damit ergibt sich eine derzeitige Energiebereitstellung durch ST durch Flachkollektoren von 3,65 PJ jährlich.

In der Modellierung gibt es für die EFH in der Stadt und am Land separate Technologieblöcke für die ST. Darin werden die auf diesen Gebäuden vorhandenen energetisch nutzbaren Dachflächen, die der ST gewidmet wurden in Wärme umgewandelt. Da nicht alle für die ST reservierten Dachflächen auch tatsächlich genutzt werden, gibt es in beiden Technologieblöcken Nutzungsfaktoren, die bestimmen, wie hoch der genutzte Anteil der potentiell zur Verfügung stehenden Flächen ist. Mit der Annahme, dass die Verteilung der Kollektoren auf den EFH die gleiche ist, wie die Verteilung der EFH auf Stadt und Land ergeben sich folgende derzeitige Nutzungsfaktoren: In der Stadt werden derzeit 6 % der potentiellen Flächen genutzt, am Land sogar nur 5 %. Dabei ist zu bedenken, dass in den derzeitigen Modelleinstellungen nur 40 % der energetisch nutzbaren Dachflächen für die ST zur Verfügung gestellt werden.

4.5.1.3 Endenergetischer Bedarf Raumwärme und Warmwasser

Bei den beschriebenen Einstellungen ergeben sich im Bereich RW & WW folgende Werte: Für die Nutzenergie von 215 PJ jährlich werden 60,6 PJ Fernwärme, 67 PJ Biogas und 133 PJ feste Biomasse benötigt, wenn der Beitrag von ST 3,65 PJ ist.

Auf Energieträgerbasis bedeutet dies, dass aus 260,6 PJ Endenergie 215 PJ Nutzenergie bereitgestellt werden können, ein Verhältnis von 1,21.

4.5.2 Mobilität und Antriebe

Gewählte Gliederung dieses Bereichs

- Personenverkehr: Stadt (inkl. Umland), ländlicher Raum; 0 – 5 km, über 5 km; Fuß, Rad, Öffentlicher Verkehr (ÖV), Motorisierter Individualverkehr (MIV)
- Güterverkehr: Schiene, Strasse; Nahverkehr, Fernverkehr
- Standmotoren

- „Off-Road“ - Traktion aus der Land- und Forstwirtschaft
- Ausweisung der Verkehrsleistungen

Haupt-Datenquellen

(Herry, et al. 2007), (NoeLak 2003), (MA 18 2006), (Statistik Austria 2008 G), ECOINVENT

Eingabedaten

- Personenverkehrsleistung [pkm]
- Güterverkehrsleistungen [tkm]
- Verschiedene PKW (Elektro, Biodiesel, Bioethanol, Biogas) [MJ/pkm]
- Verschiedene LKW (Biodiesel, Bioethanol, Biogas) und Güterzug [MJ/tkm]

Prozesspläne in diesem Bereich

- „Mobilität & Antriebe“
- „Personenverkehr Stadt (inkl. Umland)“ und „Personenverkehr Land“, darin enthalten:
 - je ein Plan für Personenverkehr bis 5 km und über 5 km, darin enthalten:
 - je ein Technologie-Mix für ÖV und MIV
- „Güter - Nahverkehr“ und „Güter - Fernverkehr“, darin enthalten:
 - bei Nahverkehr: Technologie-Mix Strasse
 - bei Fernverkehr: je ein Technologie-Mix für Strasse und Schiene
- „Standmotoren“

Aufteilglieder

- In jedem Technologie-Mix ist ein Aufteiglied zur Forcierung bzw. Reduktion des Einsatzes der verschiedenen Technologien
- Ein Aufteiglied zur Verteilung der Güterfernverkehrsleistung auf Strasse und Schiene

Derzeit werden in Österreich im Bereich Verkehr Energieträger mit einem Energieinhalt von 354 PJ nachgefragt. (Mayer 2006) Der Bereich Verkehr deckt dabei alle für Traktion eingesetzten Energieträger ab, inklusive dem in der Land- und Forstwirtschaft gebrauchten Diesel

zur Bewirtschaftung der Kulturflächen. (Bittermann 2007, 32) Diese 354 PJ Energieträger werden bei der Anwendung in 124 PJ Nutzenergie umgewandelt (vgl. Energieflussbild). Das ergibt einen durchschnittlichen Umwandlungswirkungsgrad von etwa 35 %, was dem eines Dieselmotors entspricht. Benzinmotoren sind mit 25 % Wirkungsgrad noch ineffizienter. Im Vergleich dazu ist es mit Elektromotoren möglich Wirkungsgrade von 80 % und darüber zu erreichen. Würde man die nachgefragte Nutzenergie aus diesem Bereich rein mit Strom bereitstellen, so wären dazu 155 PJ notwendig, eine Einsparung von fast 60 % an Energieträgern. Der Energieeinsatz für den nachgefragten Traktionsnutzen ist also vergleichsweise sehr hoch und eine Untersuchung der Möglichkeiten der Bedarfsminderung sinnvoll.

In der Modellierung 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.

Abbildung 33 Seite 121 zeigt den Prozessplan „Mobilität und Antriebe“. Dabei sind auf der linken Seite die benötigten Energieträger dargestellt, in der Mitte die Bereiche, in denen Antriebsleistung benötigt wird und auf der rechten Seite die erbrachte Nutzenergie.

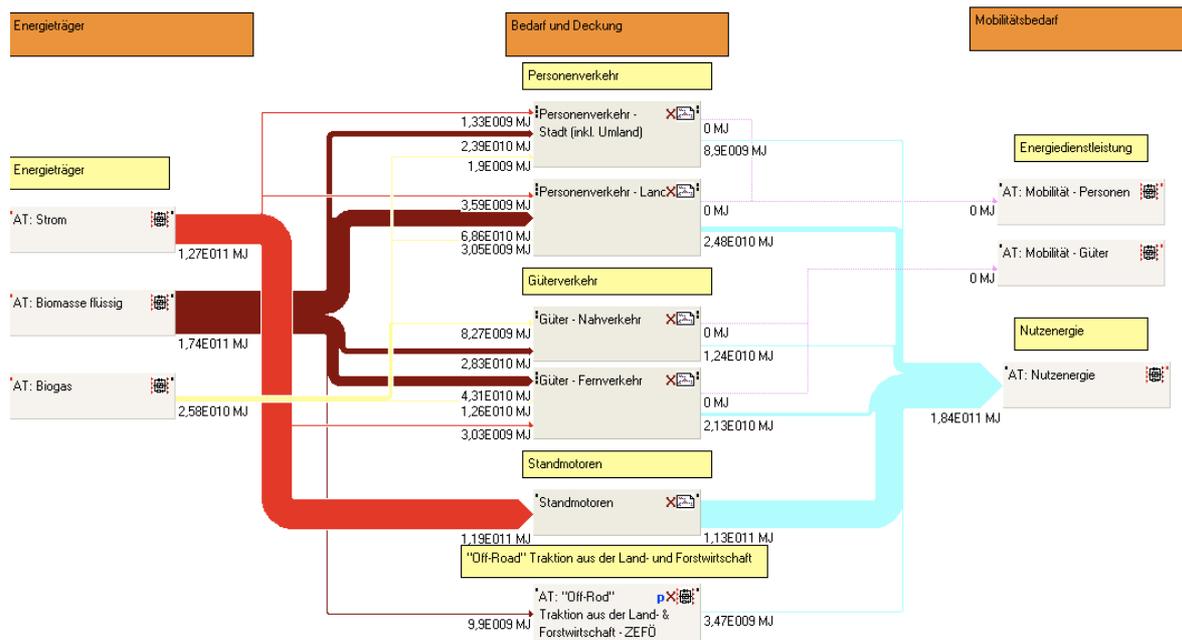


Abbildung 33: Prozessplan „Mobilität & Antriebe“

Im Folgenden wird zunächst auf die Bedarfsstruktur des betrachteten Bereichs eingegangen. Danach werden die Technologien zur Bereitstellung der Nachfrage beschrieben.

4.5.2.1 Bedarfsstruktur Mobilität und Antriebe

Die Bedarfsstrukturen des Personen- und des Güterverkehrs werden detailliert modelliert und beschrieben, da dies in beiden Bereichen entscheidend ist für die Wahl der eingesetzten Anwendungstechnologien. Die derzeit durch den Flugverkehr erbrachten Transportleistungen in den beiden Bereichen werden in dieser Studie nicht betrachtet. Der Bereich „Off-Road“ der Land- und Forstwirtschaft wird in seinem derzeitigen Energiebedarf übernommen. Standmotoren werden nicht so detailliert behandelt wie die Traktion, da hier durch die Ortsfestigkeit eine Substitution fossiler Brennstoffe v. a. durch Strom erleichtert wird.

Personenverkehr

Für die Modellierung des Personenverkehrs wird für diese Studie folgende Struktur gewählt: Unterscheidung zweier Siedlungsdichten, einerseits Stadt inklusive Umland, andererseits ländlicher Raum. Darüber hinaus werden in beiden Siedlungsbereichen die zurückgelegten Distanzen betrachtet. Eine Unterscheidung erfolgt zwischen Wegen, die kürzer als fünf Kilo-

meter und solchen, die länger sind. Weiters ist es notwendig das für den jeweiligen Weg gewählte Transportmittel in der genannten Struktur zu kennen.

Für einen Zusammenhang zwischen benötigter Energie und erbrachtem Nutzen im Personenverkehr ist eine Berechnung der sogenannten Verkehrsleistung (Einheit Personenkilometer [pkm]) in der genannten Struktur notwendig. Dafür wird in einem ersten Schritt die in Österreich lebende Bevölkerung auf die beiden Siedlungsstrukturen aufgeteilt. Als Stadtbevölkerung werden die Einwohner der acht größten Städte betrachtet. Angenommen wird, dass noch einmal etwa 35 % dieser Einwohnerzahl in unmittelbarer Umgebung der Städte wohnt und an die Verkehrsstruktur der Stadt angeschlossen ist. Damit ergibt sich eine Aufteilung von 41 % Stadt- und 59 % Landbevölkerung.

Für die weiteren Berechnungen werden Werte der derzeitigen Mobilität in Städten aus dem Masterplan Verkehr Wien (MA 18 2006) und einer Studie zu möglichen Szenarien zukünftiger Mobilität im Raum Wien (Shell Austria GmbH 2004) herangezogen und teilweise angepasst. Für den ländlichen Raum werden Mobilitätsdaten aus Niederösterreich (NoeLak 2003) verwendet.

Die durchschnittliche Länge eines zurückgelegten Weges unterscheidet sich zwischen städtischen und ländlichen Siedlungsstrukturen deutlich. Während in der Stadt ein Weg durchschnittlich 5 km lang ist, beträgt die Länge am Land über 14 km. Die Anzahl der zurückgelegten Wege ist aber etwa die gleiche. So werden in Österreich sowohl am Land als auch in der Stadt durchschnittlich 3 Wege pro Werktag und Person zurückgelegt.

Betrachtet man die Wahl des Verkehrsmittels für die bewältigten Wege, so zeigen sich wieder deutliche Unterschiede zwischen Stadt und Land. Der sogenannte Modal-Split, eine Aufteilung der Weganzahl auf die dafür verwendeten Transportmittel zeigt in der Stadt folgendes Bild: 24 % der Wege werden zu Fuß erledigt, 7 % mit dem Fahrrad (Rad), 29 % mit öffentlichen Verkehrsmitteln (ÖV) und 40 % mittels motorisiertem Individualverkehr (MIV), also PKW, Moped, Roller und Ähnliches. In ländlichen Bereichen dominiert der MIV noch stärker als in Städten. Es zeigt sich folgende Aufteilung: 18 % zu Fuß, 7 % mit dem Rad, 13 % ÖV und 62 % MIV.

An Wochenenden werden im Schnitt weniger Wege zurückgelegt als werktags wobei die durchschnittliche Weglänge etwas höher liegt.

Der Anteil aller Wege, die unter 5 km lang sind beträgt in ländlichen Bereichen etwa 52 %. Aufgrund fehlender Quellen wird für die Stadt ein nur knapp höherer Anteil angenommen. Eine Aufteilung der Verkehrsleistungen nach dem Modal-Split auf die zurückgelegten Distanzen erfolgte mit folgenden Annahmen: Alle zu Fuß erledigten Wege sind unter 5 km. 10 % der mit dem Rad erledigten Wege sind länger als 5 km. In der Stadt sind die Hälfte der mit ÖV erledigten Wege kürzer als 5 km, am Land nur 10 %.

Die sich nach der beschriebenen Charakteristik ergebende Aufteilung der Personenverkehrsleistung ist in Tabelle 27 dargestellt.

Tabelle 27: Personenverkehrsleistungen nach Siedlungsdichte und Transportmittel (Quelle: eigene Berechnungen auf Basis (Herry, et al. 2007), (NoeLak 2003), (MA 18 2006), (Shell Austria GmbH 2004))

Personenverkehr Verkehrsleistung	Fuß	Rad	ÖV	MIV	Gesamt
	[Mio. pkm/a]				
<u>Ländliche Regionen</u>					
bis 5 km	1.201	751	1.659	3.624	7.234
über 5 km	0	83	14.928	41.416	56.427
<u>Städte inkl. Umland</u>					
bis 5 km	489	385	3.691	3.183	7.747
über 5 km	0	43	3.691	13.107	16.840
<u>Gesamt</u>	1.690	1.262	23.967	61.329	88.248

Gesamt werden in Österreich jährlich gut 88 Mrd. pkm zurückgelegt, über 70 % davon in ländlichen Regionen. Über 80 % der Verkehrsleistung erfolgt auf Strecken über 5 km Länge. Auffallend ist ebenfalls die Dominanz des MIV in der Verkehrsleistung. Der Anteil an der Gesamtleistung beträgt hier fast 70 %.

In Abbildung 34 auf der folgenden Seite ist der Prozessplan „Mobilität, Stadt (inkl. Umland)“ dargestellt. Erkennbar ist die Aufteilung auf die zurückgelegten Distanzen (Mitte), links sind die benötigten Energieträger und rechts die erbrachte Nutzenergie abgebildet.

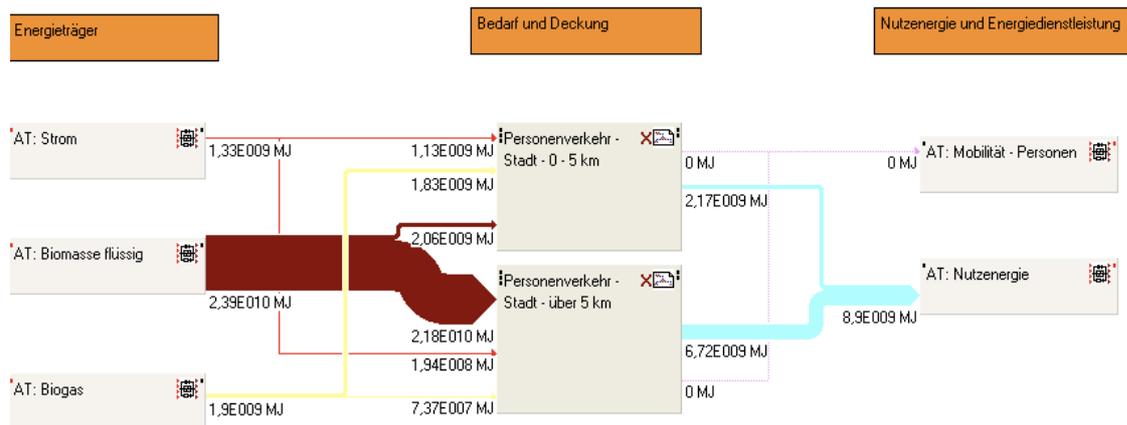


Abbildung 34: Prozessplan „Mobilität, Stadt (inkl. Umland)“

Erkennbar ist die derzeitige Dominanz flüssiger Brennstoffe auch im städtischen Bereich. Durch den vorwiegenden Einsatz von Verbrennungsmotoren ist die erbrachte Nutzenergie im Verhältnis gering (in der Abbildung türkis dargestellt).

Güterverkehr

Auch im Güterverkehr ist es notwendig die nachgefragten Verkehrsleistungen zu kennen um die dafür benötigte Energie zu errechnen. Der Transport von Gütern kann auf Schienen, auf der Strasse, mit dem Schiff, mit dem Flugzeug und mit Rohrleitungen vollzogen werden. Der Güterverkehr mit Flugzeugen wird wie schon erwähnt in dieser Studie nicht betrachtet.

Eine Aufteilung der Güterverkehrsleistung (diese wird in Tonnenkilometer [tkm] angegeben) im Jahr 2005 zeigte folgendes Bild: Gesamt (ohne Flugverkehr) wurden etwa 71 Mrd. tkm erbracht, davon 25 % auf der Schiene, etwa 50 % auf der Strasse, etwa 22 % in Rohrleitungen und knapp 4 % in der Binnenschifffahrt. (Herry, et al. 2007, 138) Die Binnenschifffahrt wird aufgrund des relativ geringen Anteils hier nicht weiter behandelt. Ein Blick auf die in Rohrleitungen transportierten Güter zeigt, dass bei diesen Werten nur fossile Rohstoffe inkludiert sind (derzeit etwa die Hälfte Gas, die andere Hälfte Erdöl und Erdölprodukte). Da in dieser Studie ein Energiesystem untersucht wird, das ohne fossile Energieträger funktionieren soll, werden diese Transportleistungen nicht betrachtet. Der benötigte Energieaufwand für den Transport von in dieser Studie untersuchten Energieträgern in Rohrleitungen wird in Kapitel 4.6 Transport von Energieträgern auf Seite 137 behandelt.

Im Folgenden werden also die Transportleistungen auf der Strasse und auf der Schiene betrachtet. Die technischen Möglichkeiten zur Bereitstellung der jeweiligen Transportleistung sind davon abhängig welche Distanzen zurückgelegt werden sollen. Eine Unterscheidung erfolgt deshalb in Nah- und Fernverkehr. Dabei wird angenommen, dass der gesamte Schienentransport im Langstreckenbereich erfolgt. Eine Aufteilung des Transports auf der Strasse in Nah- und Fernverkehr wird näherungsweise dadurch errechnet, welche Transportleistung österreichischer Unternehmer im Straßenverkehr nicht Bundesländer übergreifend erbracht wird. (Statistik Austria 2008 G, 10) Die daraus entstehende Verteilung zeigt Tabelle 28.

Tabelle 28: Güterverkehrsleistungen Nah- und Fernverkehr (Quelle: eigene Berechnungen auf Basis, (Herry, et al. 2007), (Statistik Austria 2008 G))

Güter Verkehrsleistung	Nahbereich [Mio. tkm]	Fernverkehr	
		[Mio. tkm]	[%]
Schiene	-	17790	37,3
Strasse	5500	29843	62,7
Gesamt	5500	47633	100

Über 60 % der Güterverkehrsleistung im Fernverkehr wird derzeit über die Strasse abgewickelt. Ein kleiner Teil der Transportleistung, etwa 10 %, erfolgt im Nahbereich.

„Off-Road“ - Traktion in der Land- und Forstwirtschaft

Der Anteil dieser Traktion am Endenergieverbrauch der Nutzenergiekategorie Verkehr ergibt sich aus der Differenz zwischen dem Gesamteinsatz dieser Kategorie und dem Sektor Transport aus der Energiebilanz (Bittermann 2007, 32). Im Jahr 2005 wurden 9,9 PJ benötigt. In der Modellierung wird dieser Energieträgerbedarf als konstant angenommen und mit einem Wirkungsgrad von 35 % für Dieselmotoren (Bittermann 2007, 12) in Nutzenergie umgerechnet. Als Energieträger wird Biomasse flüssig verknüpft.

Standmotoren

Unter der Nutzenergiekategorie Standmotoren wird der Energieträgeraufwand für den Antrieb von Arbeitsmaschinen aller Art durch Motoren zusammengefasst. (Bittermann 2007, 12) Im Jahr 2005 wurden dafür 161 PJ benötigt, wovon 102 PJ Strom, 54 PJ Öl und 5 PJ Gas waren um knapp 113 PJ Nutzenergie bereitzustellen.

In dieser Studie wird angenommen, dass durch die Ortsfestigkeit der Motoren dieser Kategorie eine Substitution fossiler Energieträger durch Strom technisch unproblematisch ist. Durch den höheren Wirkungsgrad elektrisch betriebener Motoren ergibt sich dadurch ein Strombedarf für diese Motoren von knapp 119 PJ.

4.5.2.2 Technologien zur Bereitstellung von Mobilität

Im Gegensatz zur Bereitstellung von Raumwärme, wo mit einem Technologie-Mix für alle Gebäude gearbeitet wurde, werden im Bereich der Mobilität verschiedene Technologiekombinationen verwendet. Unterschieden wird hier Technologie-Mix im Personenverkehr für ÖV und MIV und im Güterverkehr für Strasse und Schiene. Die Daten für die verschiedenen Technologien werden aus der ECOINVENT Datenbank entnommen und mit Literaturquellen teilweise ergänzt. Für die Umwandlung der eingesetzten Energieträger in Nutzenergie werden die Wirkungsgrade der unterschiedlichen Motoren aus der Methodendokumentation zur Energiebilanz herangezogen. (Bittermann 2007, 12) Abbildung 35 zeigt beispielhaft den Prozessplan „Mobilität, Stadt inkl. Umland, 0 bis 5 km, MIV“, der den Technologie-Mix für diesen Bereich des Personenverkehrs bildet.

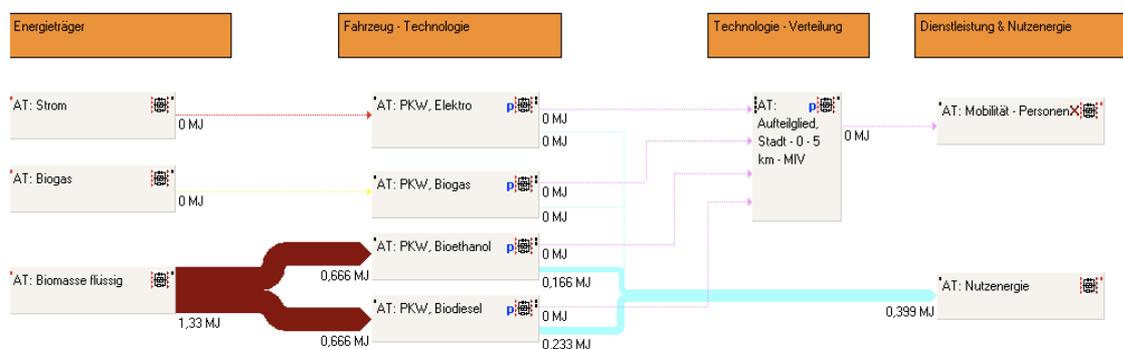


Abbildung 35: Prozessplan „Mobilität, Stadt inkl. Umland, 0 bis 5 km, MIV“

Technologie-Mix Personenverkehr – ÖV

Für den öffentlichen Verkehr werden die Technologien O-Bus, Linienbus mit Biodiesel bzw. Biogas und bei längeren Strecken auch Regionalzug unterschieden. Über den Treibstoffverbrauch pro Fahrzeugkilometer und die durchschnittliche Beladung wird der Treibstoffverbrauch je beförderter Person errechnet. Da sich herausgestellt hat, dass die

Werte für O-Bus und Tram die gleichen sind, werden diese beiden Technologien zusammen modelliert. Eine Zusammenstellung der verwendeten Daten zeigt Tabelle 29.

Tabelle 29: Technologien für die Mobilität im Öffentlichen Verkehr (Quelle: eigene Berechnungen auf Basis ECOINVENT, (Ernst Basler + Partner AG 2002), (FNR 2006), (FNR 2008))

Öffentlicher Verkehr	Beladung Ø	Treibstoffverbrauch		Wirkungsgrad	Treibstoff im Modell
	[p]	[MJ/vkm]	[MJ/pkm]	[%]	
O-Bus, Tram	39,44	13,08	0,34	80	Strom
Linienbus - Biodiesel	14,01	14,07	1,00	35	Biomasse flüssig
Linienbus - Biogas	14,01	18,75	1,34	30	Biogas
Regionalzug	-	-	0,30	80	Strom

Technologie-Mix Personenverkehr – MIV

Für den motorisierten Individualverkehr werden PKW mit unterschiedlichen Antriebstechnologien unterschieden. Es werden Verbrennungsmotoren, die mit Biodiesel, Bioethanol und Biogas betrieben werden und Elektromotoren modelliert. Auch hier erfolgt eine Berechnung der benötigten Energien über die durchschnittliche Beladung und den Treibstoffverbrauch pro Fahrzeugkilometer. Tabelle 30 zeigt die verwendeten Daten für den Bereich MIV.

Tabelle 30: Technologien für die Mobilität im Motorisierten Individualverkehr (MIV) (Quelle: eigene Berechnungen auf Basis EVOINVENT, (Pehnt, et al. 2007), (FNR 2006), (FNR 2008))

MIV	Beladung Ø	Treibstoffverbrauch		Wirkungsgrad	Treibstoff im Modell
	[p]	[MJ/vkm]	[MJ/pkm]	[%]	
PKW - Biodiesel	1,60	2,13	1,33	35	Biomasse flüssig
PKW - Bioethanol	1,60	2,13	1,33	25	Biomasse flüssig
PKW - Biogas	1,60	2,48	1,55	30	Biogas
PKW - Elektro	1,60	0,72	0,45	80	Strom

Technologie-Mix Güterverkehr – Strasse und Schiene

Im Güterverkehr werden für die Strasse verschiedene Arten von LKW und Lieferwagen unterschieden. Im Nahverkehr werden Lieferwagen bis 3,5 t und LKW bis 16 t eingesetzt, im Fernverkehr LKW bis 16 t und LKW über 16 t. Bei allen Transportfahrzeugen werden jeweils eine gasbetriebene und eine mit flüssigem Treibstoff betriebene Variante unterschieden. Im Schienenverkehr wird ein elektrischer Güterzug implementiert. Auch im Bereich Güterver-

kehr erfolgt eine Berechnung der Energie über die durchschnittliche Beladung und den Treibstoffverbrauch pro Fahrzeugkilometer. Tabelle 31 fasst die Daten zusammen.

Tabelle 31: Technologien im Güterverkehr (Quelle: eigene Berechnungen auf Basis ECOINVENT, (Bittermann 2007), (FNR 2008))

Güterverkehr	Beladung Ø	Treibstoffverbrauch		Wirkungsgrad	Treibstoff im Modell
	[t]	[MJ/vkm]	[MJ/tkm]	[%]	
Strasse					
Lieferwagen <3,5t fl. Treibstoff	0,25	2,60	10,41	35	Biomasse flüssig
Lieferwagen <3,5t Biogas	0,25	3,04	12,15	30	Biogas
LKW 3,5-16t fl. Treibstoff	2,90	7,15	2,47	35	Biomasse flüssig
LKW 3,5-16t Bio-gas	2,90	8,35	2,88	30	Biogas
LKW >16t fl. Treibstoff	9,50	10,73	1,13	35	Biomasse flüssig
LKW >16t Biogas	9,50	12,52	1,32	30	Biogas
Schiene					
Güterzug elektrisch	-	-	0,17	80	Strom

Betrachtet man die verschiedenen Technologien zur Bereitstellung von Mobilität, so erkennt man durchgehend den geringeren Energieverbrauch elektrisch betriebener Motoren. Und auch die durchschnittliche Beladung ist von entscheidender Bedeutung für die zur Beförderung aufgewendete Energie.

Einstellungen der Aufteilglieder

Über die Aufteilglieder können nun die verschiedenen Technologien zur Bereitstellung von Mobilität forciert bzw. reduziert werden. Für die Grundeinstellungen wird der Einsatz der Technologien an die heutige Situation angepasst. Tabelle 32 zeigt die Grundeinstellungen im Personenverkehr und Tabelle 33 diejenigen für den Güterverkehr.

Tabelle 32: Grundeinstellungen Technologie-Mix im Personenverkehr

Technologie-Mix	Anteil an der Bedarfsdeckung			
	Stadt (inkl. Umland)		Ländliche Region	
	< 5 km	> 5 km	< 5 km	> 5 km
ÖV				
O-Bus/Tram	0,5	0,3	0	0
Linienbus - Biodiesel	0,3	0,2	1	0,3
Linienbus - Biogas	0,2	0,1	0	0,2
Regionalzug	0	0,4	0	0,5
<i>Summe</i>	<i>1</i>	<i>1</i>	<i>1</i>	<i>1</i>
MIV				
PKW - Elektro	0	0	0	0
PKW - Biodiesel	0,5	0,5	0,5	0,5
PKW - Bioethanol	0,5	0,5	0,5	0,5
PKW - Biogas	0	0	0	0
<i>Summe</i>	<i>1</i>	<i>1</i>	<i>1</i>	<i>1</i>

Tabelle 33: Grundeinstellungen Technologie-Mix im Güterverkehr

Technologie-Mix	Anteil an Bedarfsdeckung	
	Fern	Nah
Strasse		
Lieferwagen <3,5t, fl. Treibstoff	0	0,2
Lieferwagen <3,5t, Biogas	0	0,2
LKW 3,5-16t, fl. Treibstoff	0,2	0,3
LKW 3,5-16t, Biogas	0,2	0,3
LKW >16t, fl. Treibstoff	0,3	0
LKW >16t, Biogas	0,3	0
<i>Summe</i>	<i>1</i>	<i>1</i>
Schiene		
Güterzug - elektrisch	1	-

Des Weiteren wurde ein Aufteilglied zur Verteilung der Gütertransportleistungen im Fernverkehr auf Strasse und Schiene implementiert. In den Grundeinstellungen spiegelt es die derzeitige Situation wider mit einem Verhältnis von 63 % Strasse und 37 % Schiene.

4.5.2.3 Endenergiebedarf Mobilität und Antriebe

In diesem Kapitel wird einerseits der sich ergebende Endverbrauch an Energieträgern zusammengefasst, aber auch die sich über die Wirkungsgrade der Umwandlungstechnologien ergebende Nutzenergie.

Derzeit werden in der Nutzenergiekategorie Verkehr jährlich 354 PJ Energieträger nachgefragt um 124 PJ Nutzenergie bereitzustellen. Dabei werden die Energieträger aus dem Sektor Transport aus der Energiebilanz und die für die „Off-Road“ Traktion benötigten Energieträger addiert. Im Sektor Transport werden die in den Bereichen Eisenbahn, Sonstiger Landverkehr, Schifffahrt, Transport in Rohrleitungen und im Flugverkehr für Traktion benötigten Energieträger zusammengefasst. (Bittermann 2007, 33).

Für den nationalen Flugverkehr werden in Österreich derzeit etwa 683.000 t Flugturbinenkraftstoff jährlich benötigt, was etwa 32 PJ entspricht. (BMWA 2008, 16) Mit einem Wirkungsgrad von 40 % (Bittermann 2007) ergibt sich ein Nutzenergieanteil von 12 PJ.

In der Energiebilanz werden die in Österreich verkauften Energieträgermengen bilanziert. Da in Österreich der Treibstoffpreis im Vergleich zu einigen Nachbarländern geringer ist, werden auch Teile des in Österreich verkauften Treibstoffes nicht in Österreich umgesetzt, man spricht von preisbedingtem Kraftstoffexport bzw. Tanktourismus. Dieser macht derzeit etwa 120 PJ Energieträger jährlich aus (vgl. UBA 2007). Bei durchschnittlichen Wirkungsgraden von Verbrennungsmotoren ergibt sich ein Nutzenergieanteil von etwa 36 PJ.

In der Modellierung ergeben sich in diesem Bereich bei den beschriebenen Einstellungen die in Tabelle 34 auf der folgenden Seite zusammengestellten Werte.

Tabelle 34: Energiebedarf Mobilität und Motoren bei den beschriebenen Einstellungen

Energiebedarf Mobilität & Motoren [PJ/a]	Endenergie				Nutzenergie
	Biomasse flüssig	Biogas	Strom	Summe	
<i>Personenverkehr</i>					
Stadt	23,5	1,5	1,9	26,9	9,1
Land	66,1	4	4,7	74,8	25,1
<i>Güterverkehr</i>					
Nah	28,3	8,3	0	36,6	12,4
Fern	43,1	12,6	3	58,7	21,3
<i>Off-Road</i>	9,9	0	0	9,9	3,5
<i>Standmotoren</i>	0	0	119	119	113
Summe	170,9	26,4	128,6	325,9	184,4

Für den Personen- und den Güterverkehr ergibt die Modellierung einen Nutzenergiewert von knapp 68 PJ. Betrachtet man die nicht in die Studie eingeflossenen Anteile für Flugverkehr und Tanktourismus und bedenkt, dass der Binnenverkehr und der Transport in Rohrleitungen nicht bzw. nicht in diesem Bereich behandelt werden so stimmt die Modellierung im Bereich Mobilität mit der heutigen Situation gut überein.

4.5.3 Prozesswärme

Gewählte Gliederung dieses Bereichs

- Industrieöfen (IÖ), Dampferzeugung (DE)
- Nutzung Abwärme Prozessdampf zur Fernwärmebereitstellung
- DE über Prozessdampf aus der KWK
- IÖ über Strom, feste Biomasse und Brenngas

Haupt-Datenquellen

(Seemann, et al. 2005)

Eingabedaten

- Endenergiebedarf IÖ [PJ/a] nach den Energieträgern

- Nutzenergiebedarf DE [PJ/a]
- Wirkungsgrad der jeweiligen Anwendung für IÖ [-]
- Anteil Prozesswärme nachgenutzt [-]

Prozesspläne in diesem Bereich

- „Prozesswärme“

Aufteilglieder

- keine

Im Bereich der Prozesswärme werden die Nutzenergiekategorien Dampferzeugung (DE) und Industrieöfen (IÖ) aus der Energiebilanz zusammen modelliert. Dafür werden Daten des Energiebedarfs in den beiden Kategorien verwendet. Zu bedenken ist, dass in der Energiebilanz im Bereich der IÖ der Energiebedarf für die Warmwasserbereitstellung im Haushaltsbereich einfließt. Da dieser in der Modellierung mit der Raumwärmebereitstellung gerechnet wird, muss er hier abgezogen werden.

Im industriellen Bereich werden derzeit vielerorts fossile Energieträger eingesetzt. Da in dieser Untersuchung keine derartigen Brennstoffe betrachtet werden, müssen diese durch erneuerbare Energieträger substituiert werden. Die Vorgehensweise wird im Folgenden erläutert.

Dampferzeugung

Im Jahr 2005 wurden im Bereich DE 78 PJ Energieträger zu 63 PJ Nutzenergie gewandelt. In der Modellierung wird die Bereitstellung von Prozessdampf in der KWK durchgeführt (vgl. Kapitel 4.4 Umwandlung von Energieträgern Seite 93). Dementsprechend wird die benötigte Nutzenergiemenge in Form von Prozessdampf aus der KWK nachgefragt.

Nach der industriellen Nutzung des Dampfes geht die verbleibende Wärme meist in Form von Abwärme verloren bzw. wird an die Umgebung abgegeben. In vielen Fällen hat der Dampf nach der Anwendung aber noch ein genügend hohes Temperaturniveau um die verbleibende Wärme in Form von Fernwärme auszukoppeln. In der Modellierung wird des-

halb ein Prozess implementiert, der diesen Zusammenhang abbildet. Der Anteil an nachgenutzter Wärme kann variiert werden.

Industrieöfen

Im Jahr 2005 wurden im Bereich IÖ 144 PJ Energieträger zu 116 PJ Nutzenergie gewandelt. Es wurden 13 PJ Öl (9 %), 16 PJ Kohle (11 %), 52 PJ Gas (36 %), 37 PJ Strom (26 %), 20 PJ Erneuerbare (14 %) und 6 PJ Fernwärme (4 %) eingesetzt.

Es wird angenommen, dass die derzeit 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.

In der Kategorie IÖ ist bei den Verbrauchszahlen ebenfalls noch der Energiebedarf für Warmwasser aus den Haushalten inkludiert. Diese werden in der Modellierung im Bereich Raumwärme und Warmwasser gerechnet. Deshalb muss dieser Anteil bei den IÖ abgezogen werden. Es wird dazu der sich ergebende Wert aus den Grundeinstellungen für Warmwasser der Haushalte, dabei handelt es sich um jährlich 22,7 PJ Nutzenergie, auf die Energieträger Strom und Gas als Endenergie aufgeteilt. Eine Umrechnung in Endenergie erfolgte dabei mit einem Wirkungsgrad von 80 % (Bittermann 2007, 12) und die Verteilung auf Gas und Strom mit der Annahme, dass in der Stadt (35 % der Bevölkerung) hauptsächlich Gas und am Land hauptsächlich Strom zur Warmwasserbereitstellung eingesetzt wird.

Der restliche in Industrieöfen gebrauchte Strom wird hauptsächlich in der Elektrostahlerzeugung und in anderen Schmelzprozessen eingesetzt. Gas wird in Vergütungsöfen, zur Warmverformung (Stahlerzeugung), in der Nahrungsmittelindustrie in Zuckeröfen und zur Herstellung von Kalk und teilweise auch Zement eingesetzt.

Bei den ölbefeuerten Öfen wird angenommen, dass eine Substitution durch Gas unproblematisch ist.

Da sich in der Untersuchung der in Österreich zur Verfügung stehenden erneuerbaren Energieträgerpotentiale herausstellte, dass nur etwa 80 PJ Biogas in Erdgasqualität aus biologischer Vergasung und nachträglicher Reinigung zur Verfügung stehen, wird in der Modellierung im Bereich der Industrieöfen ein Prozess zur thermischen Vergasung fester Biomassebrennstoffe mit nachträglicher Methanisierung integriert. Aus fester Biomasse wird

so Bio-SNG erzeugt. Der Wirkungsgrad der gesamten Umwandlungskette ist etwa 60 %.
(Seemann, et al. 2005)

Eine Darstellung des Bereichs Prozesswärme in der Modellierung zeigt Abbildung 36.

Prozesswärme

GaBi 4 Prozeßplan: Energie (unterer Heizwert) [MJ]
Es werden die Namen der Basisprozesse angezeigt.

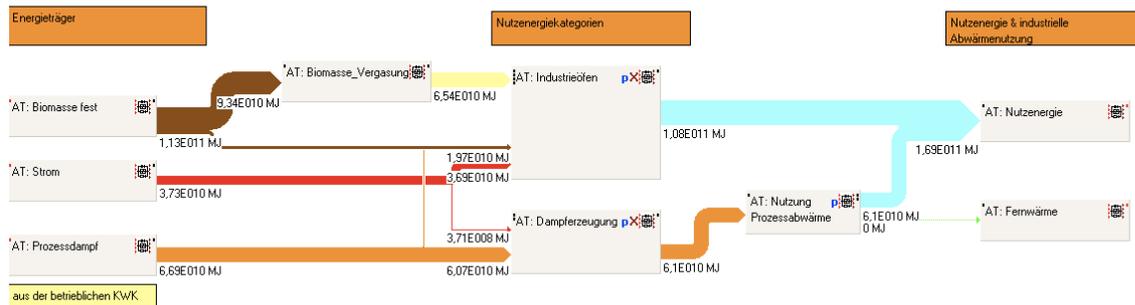


Abbildung 36: Prozessplan „Prozesswärme“

Die bei den beschriebenen Einstellungen im Bereich der Prozesswärme benötigten Energie-träger und der daraus erzeugten Nutzenergie zeigt Tabelle 35.

Tabelle 35: Ergebnisse der Grundeinstellungen im Bereich der Prozesswärme

Prozesswärme [PJ/a]	
Endenergie	
Biomasse fest	99
Strom	19
Prozessdampf	67
<i>Summe</i>	185
Nutzenergie	
	144

4.5.4 Stromanwendungen

Gewählte Gliederung dieses Bereichs

- Stromverbraucher: Beleuchtung & EDV, Elektrochemische Zwecke, Klimatisierung

Haupt-Datenquellen

(Mayer 2006), (Haas, et al. 2007)

Eingabedaten

- Strombedarf [PJ/a] nach den Nutzenergiekategorien
- Wirkungsgrad der jeweiligen Anwendung [-]

Prozesspläne in diesem Bereich

- „Endanwendung Strom“

Aufteilglieder

- keine

Im Bereich der Stromanwendungen werden die in der Energiebilanz rein aus Strom gedeckten Bereiche Beleuchtung & EDV und Elektrochemische Zwecke für diese Studie zusammengefasst. Darüber hinaus wird der Bereich Klimatisierung, der in der Energiebilanz unter Raumwärme/Warmwasser/Klimaanlagen einfließt im Bereich der Stromanwendungen modelliert, da dieser ebenfalls ausschließlich über den Energieträger Strom gedeckt wird.

In Abbildung 37 ist der Prozessplan „Stromanwendungen“ dargestellt.



Abbildung 37: Prozessplan „Stromanwendungen“

Der Strombedarf für Beleuchtung & EDV und Elektrochemische Zwecke wird aus der Energiebilanz entnommen und beträgt derzeit (2005) 35,1 PJ bzw. 1,8 PJ jährlich.

Der Strombedarf für die Klimatisierung von Wohngebäuden und Nichtwohngebäuden wird aus einer Studie des EEG TU Wien entnommen und betrug im selben Jahr 365 GWh oder 1,3 PJ. (Haas, et al. 2007)

Gesamt werden derzeit jährlich 38,2 PJ Strom in reinen Stromanwendungen benötigt.

4.5.5 Zusammenfassung der Bedarfsseite

Eine zusammengefasste Darstellung des in den vorangegangenen Kapiteln beschriebenen derzeitigen Nutzenergiebedarfs und den bei den gewählten Modelleinstellungen resultierenden Energieträgerbedarf zeigt Tabelle 36.

Tabelle 36: 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
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

In den in der Modellierung betrachteten Bereichen werden derzeit für gesamt 546 PJ Nutzenergie 812 PJ Energieträger benötigt. Das entspricht einem durchschnittlichen Verlust in der Endanwendung von 33 %. Am gravierendsten sind dabei die Verluste in der Endanwendung von Strom, die geringsten Verluste treten bei der Bereitstellung von Raumwärme und Warmwasser auf.

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.

4.6 Transport von Energieträgern

Die Verluste beim Transport von Energieträgern werden im Modell an verschiedenen Stellen implementiert. In der Untersuchung zur Bilanzierung zwischen Bedarf und Potentialen herangezogene Energieträger, das sind Strom, Biogas, flüssige und feste Biomasse werden direkt nach der Bilanzierung vor Eintritt in die Bedarfs- bzw. Umwandlungsbereiche eingesetzt. Die Verluste bei der Verteilung von Fernwärme im Nahverteilungsnetz werden im Bereich der Anwendung im Technologie-Mix Raumwärme und Warmwasser modelliert (vgl. Kap. 4.5.1.2 Technologien zur Bereitstellung von Raumwärme und Warmwasser Seite 114).

Die Transportverluste von Strom werden mit den derzeit durchschnittlichen österreichweiten Leitungsverlusten angesetzt. Im Jahr 2005 betragen diese gesamt 12,4 PJ. (Statistik Austria 2008 C) Dies ergibt bei einem energetischen Endverbrauch von 203 PJ, unter Berücksichtigung der Messung des Endverbrauchs am Ort der Verwendung einen relativen Transportverlust von 5,8 %.

Der Energieverbrauch für den Transport von Erdgas bzw. Erdöl in Rohrleitungen werden im Bereich Rohrfernleitungen in der Energiebilanz gerechnet. Gesamt wurden für Transporte in Rohrfernleitungen im Jahr 1999 etwa 8,5 PJ Energieträger benötigt. Es wurden dafür 93 % Gas und 7 % Strom eingesetzt. (Statistik Austria 2008 C) Im selben Jahr betrug die Transportleistung in Rohrleitungen 13,8 Mrd. tkm, wovon 55 % Erdöl und 45 % Erdgas waren. (Herry, et al. 2007, 142) Betrachtet man nur die Anteile des Quell-/Zielverkehrs nicht aber den Transit- und Binnenverkehr, so ergibt sich ein Anteil der dafür aufgewendeten Transportleistung an der gesamten Transportleistung bei Erdöl zu 23,9 % und bei Erdgas zu 2,6 %. Bezieht man diese Anteile auf den Energieträgereinsatz im Bereich Rohrfernleitungen so ergeben sich gesamt 2 PJ Transportenergieaufwendungen für Erdöl und 0,2 PJ für Erdgas. Bezieht man diese Mengen auf die importierten und exportierten Energieträgermengen von Erdöl und Erdgas so ergeben sich relative Transportenergien von 0,33 % für Erdöl und 0,1 % für Erdgas.

Für den Transport von Biogas in Rohrleitungen wird dieser Anteil 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. Im Bereich des Güterverkehrs ist in der Modellierung die derzeitige Transportsituation abgebildet, also auch eine Verteilung fester und flüssiger Energieträger. Es wird in der Modellierung Folgendes angenommen: Die Transportleistungen für flüssige und feste biogene Energieträger würden in einem System wie dem modellierten eher weniger als mehr werden. Derzeit bleiben derartige Veränderungen aber unbetrachtet.

5 Anwendung des Modells zur Szenarienanalyse – Darstellung langfristiger Perspektiven der österreichischen Energieversorgung

Mit dem erstellten Modell sollen Szenarien Aufschluss über Möglichkeiten der Energiebedarfsdeckung aus erneuerbaren Quellen geben. In dieser Studie werden Auswirkungen verschiedener Änderungen im Bedarfsbereich auf das Gesamtsystem untersucht und diskutiert. An der in der Beschreibung dargestellten Grundsituation des Modells werden schrittweise Veränderungen durchgeführt. In einem ersten Szenario wird der Raumwärmebedarf durch Modernisierung des Gebäudestandes verringert um in einem zweiten Szenario mit Technologien gedeckt zu werden, für die genügend Energieträger zur Verfügung stehen. In einem dritten Szenario wird der verstärkte Einsatz von elektrischen Antriebssystemen im Verkehrsbereich untersucht. Durch den aufbauenden Charakter der Szenarien soll sich einer Bedarfsdeckung angenähert werden und gleichzeitig die Auswirkungen der Einzeländerungen erkennbar sein.

Im Grundzustand des Modells stehen auf der einen Seite langfristig nachhaltig realisierbare scheinende Potentiale erneuerbarer Energieträger. Demgegenüber die derzeitige Bedarfssituation mit teilweise leichten Veränderungen in den Endanwendungstechnologien. Das Ergebnis der Bilanz zwischen Bereitstellung und Bedarf an Energieträgern zeigt Tabelle 37.

Tabelle 37: Differenz zwischen Bedarf und Bereitstellung bei den Grundeinstellungen

[PJ]	Bereitstellung - Bedarf
Strom	+137
Biogas	-84
Biomasse flüssig	-133
Biomasse fest	-255

Man erkennt, 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.

Tabelle 38 zeigt die benötigten Energieträger- und Nutzenergiemengen bei den Grundeinstellungen, einerseits für das Gesamtsystem und auch für die beiden in den Szenarien näher betrachteten Bedarfsbereiche Raumwärme & Warmwasser und Mobilität.

Tabelle 38: Nutzenergiebedarf und dafür benötigte Energieträger bei den Grundeinstellungen

[PJ]	Energieträger	Nutzenergie
Gesamtsystem	868	543
<i>davon:</i>		
Raumwärme & Warmwasser	268	215
Mobilität	202	68

Das modellierte Energieflussbild bei den Grundeinstellungen zeigt Abbildung 38. Auch hier ist erkennbar, dass nur Strom (rot) stärker bereitgestellt werden kann, als nachgefragt wird.

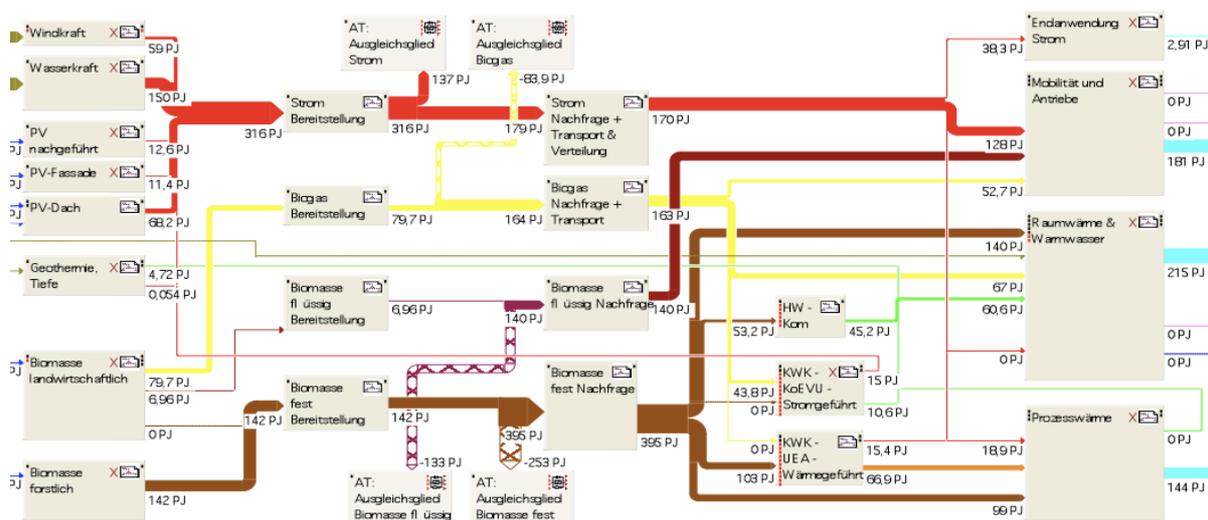


Abbildung 38: Energieflussbild bei den Grundeinstellungen

Bei der modellierten Energieträgerbereitstellung handelt es sich um langfristige nachhaltig scheinende Potentiale. Ob eine Umsetzung realistisch ist oder nicht ist von vielen Faktoren abhängig. In der folgenden Abbildung auf der nächsten Seite werden die getätigten Einstellungen in diesem Bereich hinsichtlich des Umstellungsaufwandes aus heutiger Sicht und der Ausschöpfung des technisch vorhandenen Potentials qualitativ bewertet. Gleichzeitig wird ihr Anteil am Energieträgeraufkommen dargestellt.

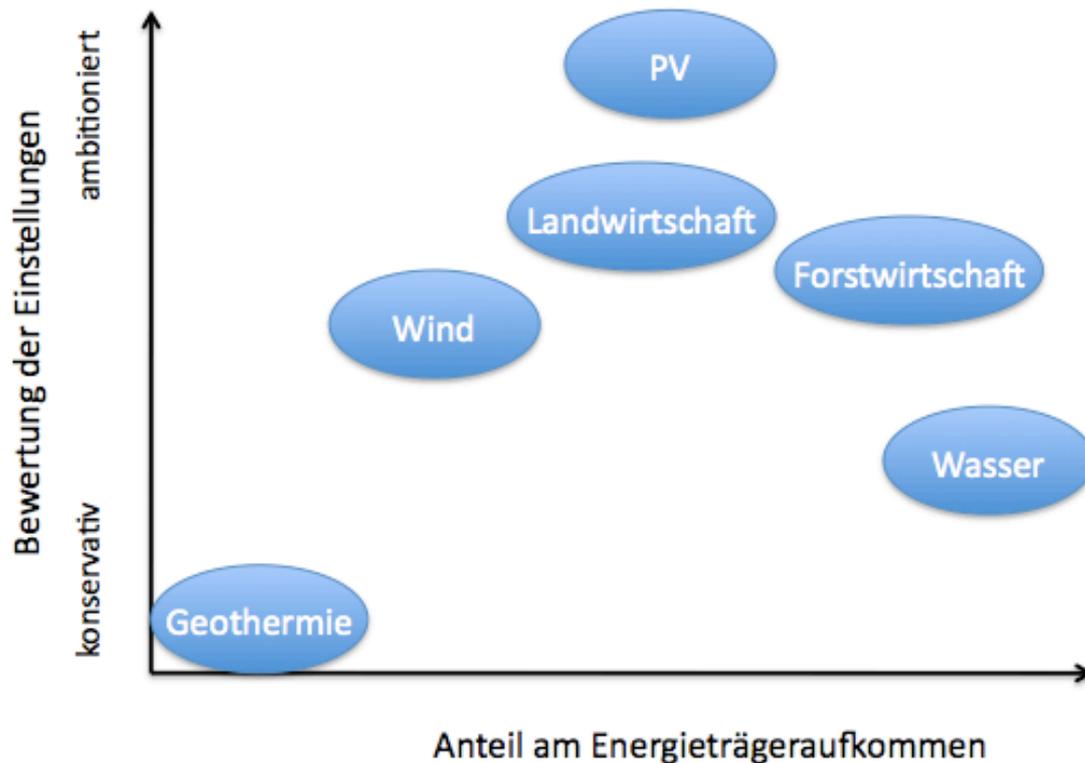


Abbildung 39: Bewertung der Einstellungen in den Potentialen der Energieträgerbereitstellung

Eine detaillierte Beschreibung der Einstellungen auf der Potentialseite erfolgt in Kapitel 4.3 ab Seite 45.

In der Beschreibung der Szenarien in den folgenden Kapiteln werden diese zunächst definiert und die Basis für die Veränderung ausgewählter Parameter erläutert. Eine Interpretation erfolgt gemeinsam für alle Szenarien im Anschluss.

5.1 Szenario 1: „Senkung Raumwärmebedarf“

Zur Senkung des derzeitigen Raumwärmebedarfs müssten vorhandene Gebäude in Österreich thermisch saniert oder durch neue mit höheren Standards in Bezug auf den Heizwärmebedarf ersetzt werden. Durch eine Dämmung der Außenhülle kann bei den derzeit existierenden Gebäuden in vielen Fällen eine Einsparung von 50 % und mehr erreicht werden. Auch ist es heute möglich, Gebäude mit jährlichen Heizwärmebedürfnissen von 40 kWh/m²a und darunter zu bauen.

Für die Untersuchung wird vereinfacht angenommen, dass sich die beheizten Flächen in Gebäuden und Wohnungen in Menge und Struktur nicht verändern. Außerdem werden in diesem Szenario nur Wohngebäude betrachtet. Eine Modernisierung der Nichtwohngebäude und das sich daraus zusätzlich ergebende Einsparpotential werden vorerst nicht in die Studie mit einbezogen. Bei derzeit durchschnittlich 160 kWh/m²a und einem Nutzwärmebedarf von über 60 PJ/a ist aber auch bei diesen Gebäuden mit einem erheblichen Einsparpotential zu rechnen.

Für das Szenario werden die Heizwärmebedarfswerte (HWB) der Wohngebäude etwa halbiert. Sehr hohe HWB werden noch stärker gesenkt, während bei relativ modernen Gebäuden eine Sanierung oder ein Neubau nicht unterstellt wird. Tabelle 39 zeigt die für das Szenario veränderten Werte.

Tabelle 39: Veränderungen im Heizwärmebedarf für Szenario 1

Haustyp	Ein- & Zweifamilienhäuser (EFH)		Mehrfamilienhäuser (MFH)	
	HWB alt	HWB neu	HWB alt	HWB neu
Bauperiode	[kWh/m ² *a]	[kWh/m ² *a]	[kWh/m ² *a]	[kWh/m ² *a]
vor 1919	160	80	130	60
1919-1944	170	85	140	70
1945-1980	200	80	145	70
1981-1990	130	60	100	50
1991-2001	100	50	80	40
2001-2007	60	60	45	45

Die Senkung des Raumwärmebedarfs hat Auswirkungen auf die in diesem Bereich benötigte Nutzenergie und auf die dafür benötigte Energieträgermenge. Tabelle 40 auf der nächsten Seite zeigt die bewirkten Änderungen im Gesamtbedarf und im Bereich Raumwärme & Warmwasser.

Tabelle 40: Nutzenergiebedarf und dafür benötigte Energieträger vor und bei Szenario 1

[PJ]	Energieträger		Nutzenergie	
	alt	neu	alt	neu
Gesamtsystem	868	771	543	473
<i>davon:</i>				
Raumwärme & Warmwasser	268	173	215	145
Mobilität	202	202	68	68

Im gesamten Bereich können über 30 % Nutzenergie und etwa 35 % Energieträger eingespart werden. Im Gesamtsystem bewirkt das eine Bedarfsminderung von gut 10 %. Große Einsparungen können dabei an festen Biomassebrennstoffen ausgemacht werden. Zusätzlich sinkt der Biogasbedarf. Die sich ergebende Differenz zwischen Bedarf und Bereitstellung im Vergleich mit der Situation zuvor zeigt Tabelle 41.

Tabelle 41: Differenz zwischen Bedarf und Bereitstellung vor und bei Szenario 1

[PJ]	Bereitstellung - Bedarf	
	alt	neu
Strom	+137	+137
Biogas	-84	-66
Biomasse flüssig	-133	-133
Biomasse fest	-255	-174

Da keine flüssigen Brennstoffe im Raumwärmebereich modelliert wurden bleibt die Deckungssituation bei diesen Energieträgern konstant. Insgesamt könnte durch die Senkung des Raumwärmebedarfs ein wichtiger Schritt Richtung Bedarfsdeckung gemacht werden. Abbildung 40 auf der nächsten Seite zeigt das veränderte Energieflussbild.

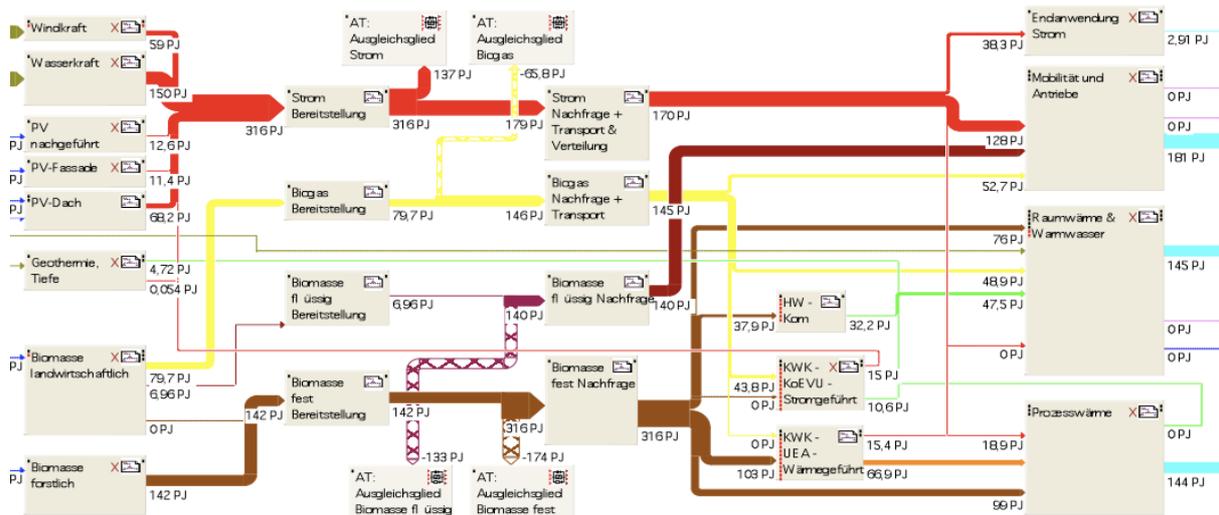


Abbildung 40: Energieflussbild bei Szenario „Senkung Raumwärmebedarf“

5.2 Szenario 2: „Technologieänderung Raumwärme & Warmwasser“

Nachdem der spezifische Wärmebedarf der Gebäude gesenkt wurde ist es möglich verstärkt Niedertemperaturheizungen einzusetzen. Es können nun Solarthermie in Kombination mit Wärmepumpen zur Deckung in ländlichen Gebieten eingesetzt werden, in denen eine autarke Versorgung einzelner Gebäude notwendig ist. In kommunalen Strukturen und vor allem im städtischen Bereich ist eine Versorgung mittels Fernwärme realisierbar. Zur Bereitstellung der Fernwärme könnte verstärkt auch Abwärme aus industrieller Nutzung herangezogen werden, was eine enorme Primärenergieeinsparung bewirken würde. Bei Biogas und festen Biomassebrennstoffen hat sich eine deutliche Unterdeckung gezeigt. Da diese zur Raumwärme- und Warmwasserbereitstellung nicht essentiell, in anderen Bereichen aber schwer substituierbar sind, werden die entsprechenden Technologien in diesem Szenario nicht eingesetzt.

In diesem Szenario wird über die Technologie-Mix im Raumwärmebereich der Anteil verschiedener Technologien an der Deckung des jeweiligen Gebäudebereichs verändert. Zusätzlich wird der genutzte Anteil an zur Verfügung stehenden Dachflächen für die Solarthermie bei Einfamilienhäusern erhöht. Die veränderten Einstellungen für Städte zeigt

Tabelle 42 und für ländliche Regionen Tabelle 43. Zu bemerken ist, dass aus Gründen der Modellierung bei Einfamilienhäusern die Technologie-Mix die restliche, von der Solarthermie nicht gedeckte Nutzwärme bereitstellen²⁴. Darüber hinaus wird die Nutzung industrieller Abwärme zur Fernwärmebereitstellung von derzeit 0 auf 40 % umgestellt.

Tabelle 42: Veränderungen in den Technologien zur Raumwärme & Warmwasserbereitstellung in der Stadt für Szenario 2

Einstellungen Aufteiglieder STADT	MFH		NWG		EFH	
	alt	neu	alt	neu	alt	neu
Technologien EFH						
Wärmepumpe Luft-Wasser	0	0	0	0	0	0,5
Wärmepumpe Sole-Wasser	0	0	0	0	0	0
Hackschnitzelheizung	0	0	0	0	0	0
Pelletsheizung	0	0	0	0	0	0
Scheitholzheizung	0	0	0	0	0	0
Fernwärme	0	0	0	0	0,3	0,5
Technologien EFH/MFH/NWG						
Heizkessel-Gas	0,5	0	0,5	0	0,7	0
Technologien MFH/NWG						
Wärmepumpe Sole-Wasser	0	0,5	0	0,5	0	0
Fernwärme	0,5	0,5	0,5	0,5	0	0
Solarthermie (bei EFH)					alt	neu
Anteil genutzte zur Verfügung stehende Dachflächen					0,01	0,2

²⁴ Für eine genauere Darstellung dieses Zusammenhanges siehe Kapitel 4.5.1 Seite 105.

Tabelle 43: Veränderungen in den Technologien zur Raumwärme & Warmwasserbereitstellung am Land für Szenario 2

Einstellungen Aufteilglieder LAND	MFH		NWG		EFH	
	alt	neu	alt	neu	alt	neu
Technologien EFH						
Wärmepumpe Luft-Wasser	0	0	0	0	0	1
Wärmepumpe Sole-Wasser	0	0	0	0	0	0
Hackschnitzelheizung	0,3	0	0,4	0	0,2	0
Pelletsheizung	0,2	0	0,2	0	0,4	0
Scheitholzheizung	0,3	0	0	0	0,4	0
Fernwärme	0	0	0	0	0	0
Technologien EFH/MFH/NWG						
Heizkessel-Gas	0,2	0	0,1	0	0	0
Technologien MFH/NWG						
Wärmepumpe Sole-Wasser	0	1	0	1	0	0
Fernwärme	0	0	0,3	0	0	0
Solarthermie (bei EFH)					alt	neu
Anteil genutzte zur Verfügung stehende Dachflächen					0,08	0,5

Die Veränderung der Bereitstellungstechnologien bewirkt eine Senkung der benötigten Energieträger in diesem Bereich. Durch den verstärkten Einsatz von Solarthermie und Wärmepumpen wird hier ein Wert erreicht, der niedriger ist als die bereitgestellte Nutzenergie. Dies ist deshalb so, da hier nicht die benötigte Primärenergie gerechnet wird, sondern der Energieträgereinsatz. Daher fließt neben Fernwärme nur der von Wärmepumpen benötigte Strom in diesen Wert ein. Tabelle 44 zeigt die Veränderungen bei Nutzenergie- und Energieträgerbedarf in diesem Szenario.

Tabelle 44: Nutzenergiebedarf und dafür benötigte Energieträger vor und bei Szenario 2

[PJ]	Energieträger		Nutzenergie	
	alt	neu	alt	neu
Gesamtsystem	771	633	473	473
<i>davon:</i>				
Raumwärme & Warmwasser	173	64	145	145
Mobilität	202	202	68	68

Auf Seite der Nutzenergie bewirkt dieses Szenario keine Veränderung. Im Gesamtsystem verstärkt der Einsatz industrieller Abwärme zur Fernwärmebereitstellung die Einspareffekte

bei den Energieträgern. Welche Auswirkungen das auf eine Deckung zwischen Bedarf und Bereitstellung der Energieträger hat zeigt Tabelle 45.

Tabelle 45: Differenz zwischen Bedarf und Bereitstellung vor und bei Szenario 2

[PJ]	Bereitstellung - Bedarf	
	alt	neu
Strom	+137	+115
Biogas	-66	-17
Biomasse flüssig	-133	-133
Biomasse fest	-174	-63

Mit den in diesem Szenario durchgeführten Technologieänderungen könnten 160 PJ jährlich feste und gasförmige biogene Energieträger eingespart werden. Dem stehen 22 PJ/a an Mehrverbrauch von Strom gegenüber. Ein essentieller Schritt in Richtung Bedarfsdeckung. Abbildung 41 zeigt das veränderte Energieflussbild.

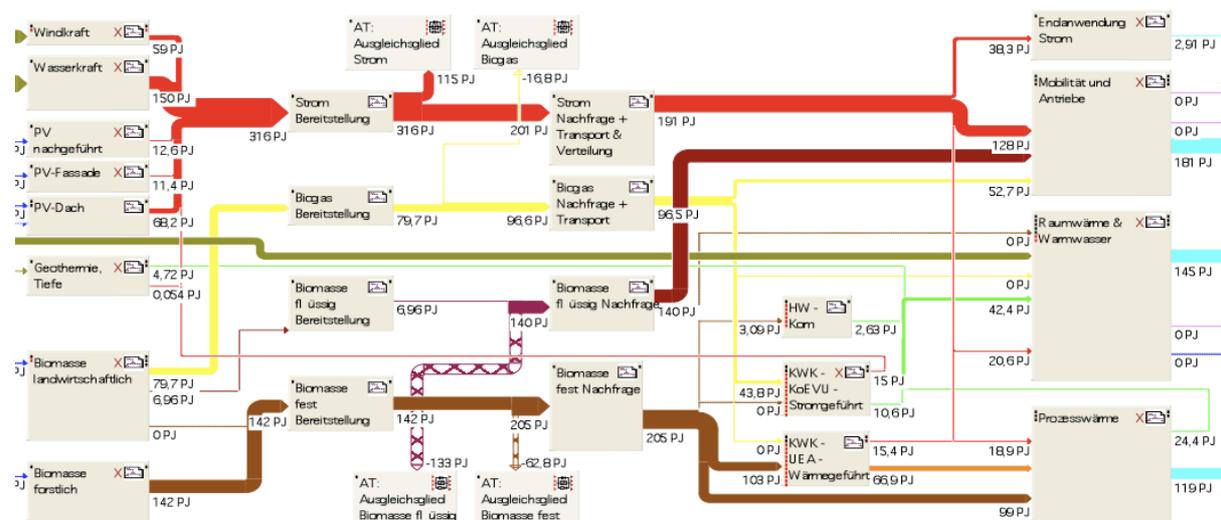


Abbildung 41: Energieflussbild bei Szenario „Technologieänderung Raumwärme & Warmwasser“

5.3 Szenario 3: „Technologie- und Strukturänderung Mobilität“

Im Mobilitätsbereich werden in diesem Szenario grundlegende Veränderungen analysiert. Der Kurzstreckenbereich im Personenverkehr wird vollkommen auf Strom umgestellt. Dies gilt sowohl für öffentlichen als Individualverkehr. Bei längeren Wegen steht zusätzlich Biogas zur Verfügung. Flüssige Brennstoffe werden ob ihres geringen Potentials gänzlich aus dem

Personenverkehr herausgenommen. Im Güterverkehr könnte der Nahbereich mit Biogas versorgt werden. Im Fernverkehr müssten Teile des Straßenverkehrs auf die Schiene gebracht werden. Die Energieeinsparungen sind enorm.

In diesem Szenario wird über die Technologie-Mix im Mobilitätsbereich der Anteil verschiedener Technologien an der Deckung des jeweiligen Bedarfsbereichs geändert. Die veränderten Einstellungen im Personenverkehr für Städte und deren Umland zeigt Tabelle 46 und für ländliche Regionen Tabelle 47. Änderungen im Güterverkehr zeigt Tabelle 48. Zusätzlich wird der Anteil des über die Schiene transportierten Fernverkehrs von derzeit 37 auf 70 % erhöht.

Tabelle 46: Veränderungen in den Technologien zur Mobilitätsbereitstellung Personenverkehr in der Stadt für Szenario 3

Technologie-Mix	Stadt (inkl. Umland)			
	Anteil an Bedarfsdeckung			
	< 5 km		> 5 km	
	alt	neu	alt	neu
ÖV	-			
O-Bus/Tram	0,5	1	0,3	0,4
Linienbus - Biodiesel	0,3	0	0,2	0,1
Linienbus - Biogas	0,2	0	0,1	0,1
Regionalzug	0	0	0,4	0,4
<i>Summe</i>	<i>1</i>	<i>1</i>	<i>1</i>	<i>1</i>
MIV	-			
PKW - Elektro	0	1	0	0,9
PKW - Biodiesel	0,5	0	0,5	0
PKW - Bioethanol	0,5	0	0,5	0
PKW - Biogas	0	0	0	0,1
<i>Summe</i>	<i>1</i>	<i>1</i>	<i>1</i>	<i>1</i>

Tabelle 47: Veränderungen in den Technologien zur Mobilitätsbereitstellung Personenverkehr in ländlichen Regionen für Szenario 3

Technologie-Mix	Ländliche Region			
	Anteil an Bedarfsdeckung			
	< 5 km		> 5 km	
	alt	neu	alt	neu
ÖV	-			
O-Bus/Tram	0	0	0	0
Linienbus - Biodiesel	1	0,3	0,3	0,1
Linienbus - Biogas	0	0,7	0,2	0,4
Regionalzug	0	0	0,5	0,5
<i>Summe</i>	<i>1</i>	<i>1</i>	<i>1</i>	<i>1</i>
MIV	-			
PKW - Elektro	0	1	0	0,8
PKW - Biodiesel	0,5	0	0,5	0
PKW - Bioethanol	0,5	0	0,5	0
PKW - Biogas	0	0	0	0,2
<i>Summe</i>	<i>1</i>	<i>1</i>	<i>1</i>	<i>1</i>

Tabelle 48: Veränderungen in den Technologien zur Mobilitätsbereitstellung Güter Nah- und Fernverkehr für Szenario 3

Technologie-Mix	Anteil an Bedarfsdeckung			
	Fernverkehr		Nahverkehr	
	alt	neu	alt	neu
Strasse				
Lieferwagen <3,5t, fl. Treibstoff	0	0	0,2	0
Lieferwagen <3,5t, Biogas	0	0	0,2	0,5
LKW 3,5-16t, fl. Treibstoff	0,2	0	0,3	0
LKW 3,5-16t, Biogas	0,2	0,5	0,3	0,5
LKW >16t, fl. Treibstoff	0,3	0	0	0
LKW >16t, Biogas	0,3	0,5	0	0
<i>Summe</i>	<i>1</i>	<i>1</i>	<i>1</i>	<i>1</i>
Schiene				
Güterzug - elektrisch	1	1	-	-

Die Veränderung der Bereitstellungstechnologien bewirkt eine Senkung der benötigten Energieträger in diesem Bereich. Tabelle 49 auf der nächsten Seite zeigt die Veränderungen bei Nutzenergie- und Energieträgerbedarf in diesem Szenario.

Tabelle 49: Nutzenergiebedarf und dafür benötigte Energieträger vor und bei Szenario 3

[PJ]	Energieträger		Nutzenergie	
	alt	neu	alt	neu
Gesamtsystem	633	575	473	473
<i>davon:</i>				
Raumwärme & Warmwasser	64	64	145	145
Mobilität	202	144	68	68

Auf Seite der Nutzenergie bewirkt dieses Szenario keine Veränderung. Durch die Umstellungen können im Bereich Mobilität fast 60 PJ/a an Energieträgern eingespart werden, das entspricht über 25 % des Bedarfs. Wie sich die Umstellungen auf eine Deckung zwischen Bedarf und Bereitstellung der Energieträger auswirkt zeigt Tabelle 50.

Tabelle 50: Differenz zwischen Bedarf und Bereitstellung vor und bei Szenario 3

[PJ]	Bereitstellung - Bedarf	
	alt	neu
Strom	+115	+87
Biogas	-17	-60
Biomasse flüssig	-133	-5
Biomasse fest	-63	-63

Mit den in diesem Szenario durchgeführten Technologie- und Strukturänderungen könnten 128 PJ jährlich flüssige biogene Energieträger eingespart werden. Dem stehen 28 PJ/a an Mehrverbrauch von Strom und 43 PJ/a an Biogas gegenüber. Ein weiterer Schritt in Richtung Bedarfsdeckung. Abbildung 42 auf der folgenden Seite zeigt das veränderte Energieflussbild.

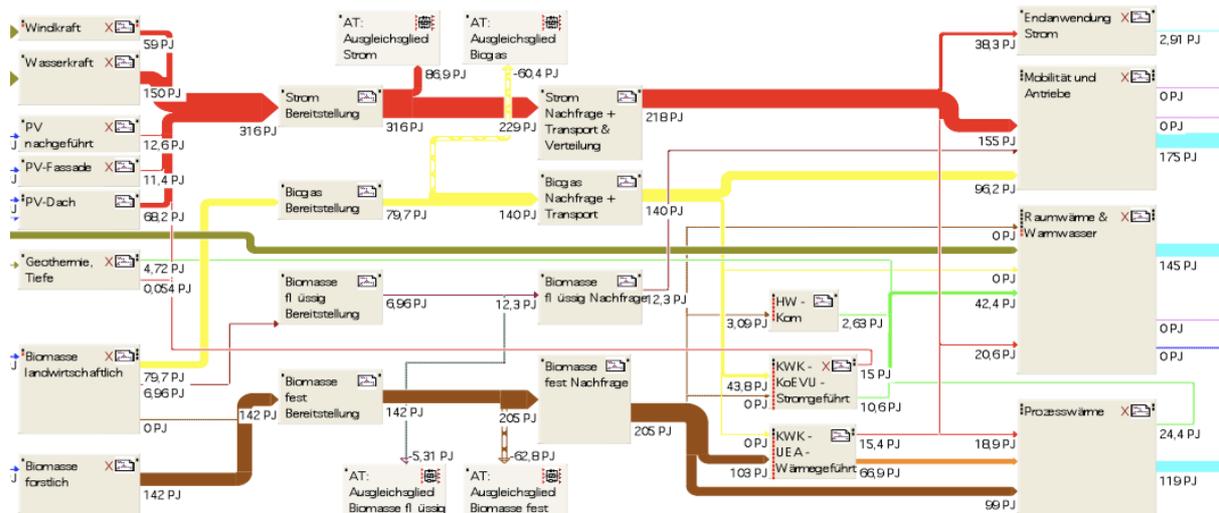


Abbildung 42: Energieflussbild bei Szenario „Technologie- und Strukturänderung Mobilität“

5.4 Ergebnisse und Diskussion der Szenarien

Durch die in den Szenarien dargelegten Veränderungen auf der Bedarfsseite des Energiesystems können wesentliche Schritte in Richtung Energiebedarfsdeckung aus erneuerbaren Quellen erzielt werden. Tabelle 51 und Tabelle 52 zeigen einen quantitativen Vergleich zwischen den Grundeinstellungen des Modells und den Ergebnissen der aufeinander aufbauenden Szenarien.

Tabelle 51: Vergleich Energieträger- und Nutzenergiebedarf bei Grundeinstellungen und nach den Szenarien

[PJ]	Energieträger		Nutzenergie	
	alt	neu	alt	neu
Gesamtsystem	868	575	543	473
davon:				
Raumwärme & Warmwasser	268	64	215	145
Mobilität	202	144	68	68

Tabelle 52: 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 Bedarfsdeckung 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 Industrieöfen 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.

Auf der Bereitstellungsseite sind in den Einstellungen langfristig nachhaltig scheinende Potentiale modelliert. Gerade im Bereich landwirtschaftlicher Biomasse ist durch die derzeit nicht in das Modell implementierten integrierten Landwirtschaftssysteme eine Steigerung der Biogasbereitstellung denkbar. Dadurch wäre im Verkehrssektor und bei Industrieöfen eine Deckung leichter durchzuführen als bei den getroffenen Einstellungen. Die Bereitstellung von Biogas in Erdgasqualität aus Reststoffen, wie dies bei integrierten Systemen der Fall ist, wäre darüber hinaus aus Sicht des Gesamtsystems sinnvoller, als die vielseitig einsetzbaren festen Biomassebrennstoffe zu vergasen. Fragen der Logistik und Durchführbarkeit müssten in diesem Zusammenhang noch geklärt werden.

Die vorgestellten Szenarien sollen im Folgenden auf ihre Realisierbarkeit hin diskutiert werden:

Die Senkung des Raumwärmebedarfs wird in Österreich durch die Einführung des Energieausweises für Gebäude und Wohnungen und die finanzielle Unterstützung bei thermischer Sanierung derzeit schon umgesetzt. Um in absehbarer Zeit sichtbare Effekte zu erzielen müssten die Anstrengungen aber noch deutlich erhöht werden. Mit durchdachten Maßnahmen scheint eine Senkung des Raumwärmebedarfs, wie sie im Szenario angenommen wurde aber auf alle Fälle realistisch, auch weil rein technisch eine noch viel größere Einsparung möglich ist. Darüber hinaus ist eine derartige Systemumstellung bis auf wenige Fälle gesellschaftlich akzeptiert.

Schwieriger umzusetzen scheinen die modellierten Änderungen in den Bereitstellungstechnologien im Raumwärmebereich. Eine vollständige Verdrängung fester Biomassebrennstoffe in ländlichen Bereichen ist momentan nicht in Sicht und auch langfristig schwer erreichbar. Da der österreichische Wald zu fast 60 % aus Kleinwald besteht, was bedeutet, dass jeder Eigentümer großteils nicht mehr als 200 ha besitzt, wird viel Überzeugungsarbeit und weiterführende Maßnahmen notwendig sein, um feste Biomasse in die Industrie zu leiten. Das wäre aber sinnvoll, da zur Bereitstellung von Raumwärme alternative Technologien zur Verfügung stehen. Bei der Installation solarthermischer Anlagen ist Österreich derzeit schon international vorne dabei, das Potential ist aber noch kaum ausgeschöpft. Gemeinsam mit Wärmepumpen könnte der Bedarf in vielen Fällen technisch realistisch gedeckt werden,

dennoch wären viele Veränderungen notwendig. Durch das schwankende Angebot solarer Wärme müsste versucht werden, thermische Langzeitspeicherung zu verbessern und Kombinationen von Solarthermie und Wärmepumpen für einen Haushalt erschwinglich zu machen. Noch gravierender scheinen die Umstellungen in der Nutzung industrieller Abwärme. Derzeit wird dies kaum oder gar nicht umgesetzt. Daher müsste in vielen Fällen die Infrastruktur neu geschaffen werden. Gleichzeitig sollten Industriebetriebe näher an Siedlungen herangeführt werden, um eine Auskopplung der Abwärme realistisch und wirkungsvoll zu gestalten. Insgesamt werden große Umstellungen notwendig sein und ein Erreichen ist derzeit nicht absehbar.

Von allen Umstellungen am schwersten umzusetzen scheinen die Änderungen im Verkehrssektor. Die Struktur des Mobilitätsbedarfs im Personenverkehr wird zwar in den Einstellungen nicht verändert, die Technologien zur Bedarfsdeckung aber werden, im Vergleich zu den heute verbreiteten, vollkommen erneuert. Vor allem die Umstellung auf elektrisch betriebene Fahrzeuge erfordert eine große infrastrukturelle Neuorientierung, da heute fast keine strombetriebenen Fahrzeuge eingesetzt werden. So groß die Intensität der Umstellung ist, so groß ist auch deren Beitrag zur Energiebedarfsreduktion. Gemeinsam mit modernen Raumordnungskonzepten ist eine Bedarfsminderung wie sie im Szenario modelliert wurde auf jeden Fall erreichbar, die Umstellung wird allerdings viel Zeit und Anstrengung in Anspruch nehmen.

In Abbildung 43 Seite 155 werden die Szenarien qualitativ in Bezug auf Umstellungsintensität und potentielltem Beitrag zur Bedarfsdeckung gegenübergestellt.

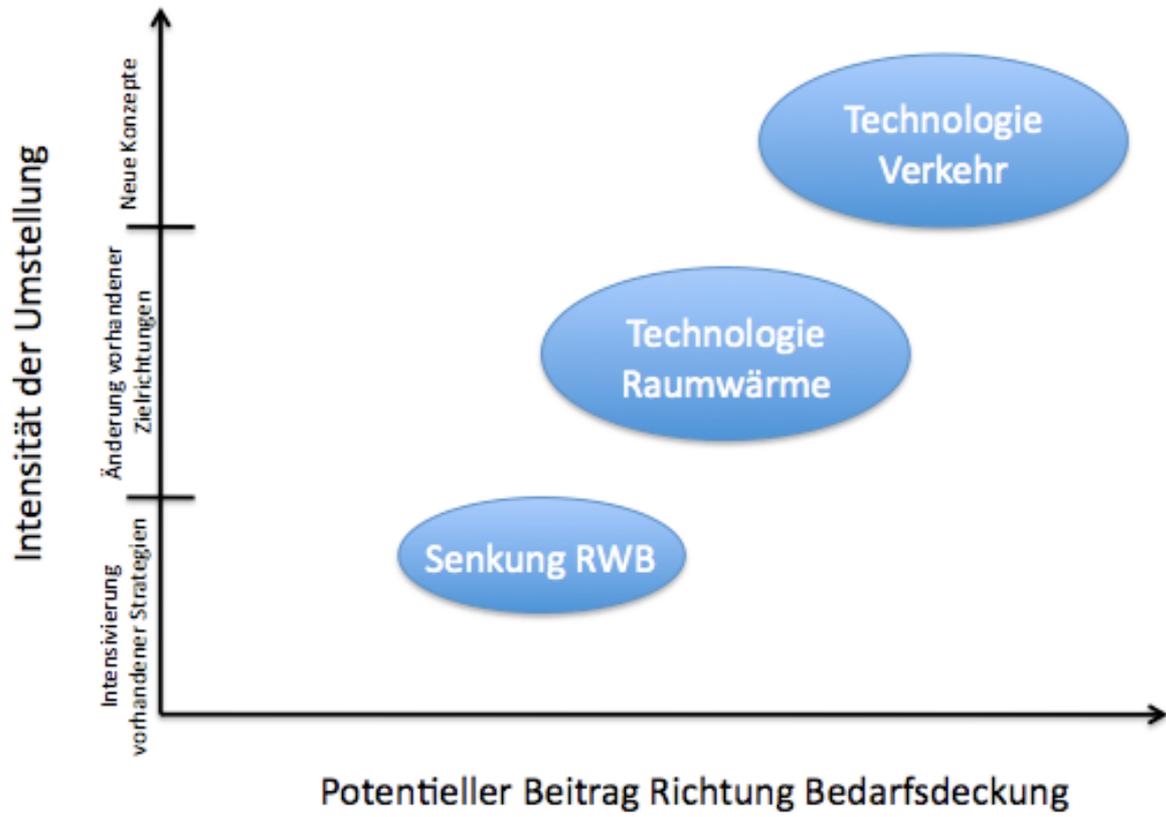


Abbildung 43: Bewertung der Szenarien

6 Zusammenfassung und Schlussfolgerungen

Ziel dieser Arbeit war, die technischen Möglichkeiten erneuerbarer Energien zur Deckung des österreichischen Energiebedarfs zu untersuchen und aussichtsreiche Entwicklungsoptionen auf dem Weg zu einem nachhaltigen, stabilen und klimaneutralen Energiesystem aufzuzeigen. Für diesen Zweck wurde ein Prozessmodell erstellt, das die Potentiale erneuerbarer Energieträger in Österreich und den Energieträgerbedarf der österreichischen Volkswirtschaft gegenüberstellt. Durch Parametrisierung der meisten Prozesse können auf beiden Seiten des Modells Änderungen in den Energiebereitstellungsketten durchgeführt und die Effekte auf Bedarfsdeckung und Effizienz quantitativ untersucht werden. Mit dem Ziel, notwendig scheinende Struktur- und Technologieänderungen hin zu einer vollständigen Bedarfsdeckung aus erneuerbaren Quellen zu visualisieren und zu analysieren, wurden auf der Bedarfsseite Bereiche mit großen Effizienz- und Einsparpotentialen und in der Bereitstellung Bereiche in denen entscheidende Nutzungskonkurrenzen um potentielle Energieträger herrschen, tief gehend modelliert. Der Hauptanteil an der Durchführung dieser Arbeit bestand dabei in der Konzeption und dem Aufbau des Modells. Erste Ergebnisse der Arbeit liefert die Analyse von drei aufeinander aufbauenden richtungsweisenden Szenarien.

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 vor-

wiegend 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 die 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. Vor allem in der Mobilität, aber auch im Raumwärmebereich müssten wesentliche Energieträgerwechsel vollzogen werden.

Die vorgestellten Ergebnisse zeigen sinnvolle Entwicklungsrichtungen, wie der österreichische Energiebedarf nachhaltig gedeckt werden könnte. Entscheidend festzuhalten ist, dass in dieser Studie der derzeitige Energie- bzw. Energiedienstleistungsbedarf Österreichs mit den zukünftig möglich scheinenden Potentialen erneuerbarer Energieträger verglichen wird. In Szenarien werden daraufhin mögliche technische Veränderungen auf der Bedarfsseite gerechnet.

In weiteren Szenarien könnten mit dem Modell aktuelle Strategien auf Effizienz und deren Beitrag zu einem nachhaltigen Gesamtsystem untersucht werden. Die schon in das Modell implementierten Herstellungsenergien könnten in Relation zum Nutzen der jeweiligen Technologie in die Szenarien mit einbezogen werden. Zeitliche Veränderungen der Charakteristik von Technologien wie Wirkungsgradsteigerungen können über Parameter ebenfalls in den Untersuchungen berücksichtigt werden. Des Weiteren sind bei den entscheidenden Technologien derzeit schon Emissionen modelliert, diese könnten ebenfalls in einer Auswertung der Szenarien berücksichtigt werden.

Zukünftige Veränderungen der Bedarfssituation, die sich aus veränderter ökonomischer Produktivität, Veränderungen in der Bevölkerung, Änderungen gesellschaftlicher Strukturen oder Lebensgewohnheiten u.v.m. ergeben, werden in dieser Studie nicht betrachtet. Derartige Veränderungen müssen in weiteren Untersuchungen abgeschätzt und in die Szenarienrechnungen mit einbegriffen werden. Betrachtet man den Trend aus der Vergangenheit, so müsste mit einer Zunahme des Energiebedarfs in Zukunft gerechnet werden. Andererseits werden etwa in der derzeit in Ausarbeitung befindlichen nationalen Energiestrategie Möglichkeiten diskutiert, den steigenden Energiebedarf zu stabilisieren. Des Weiteren wurden in den Szenarien für diese Studie auf der Potentialseite des Modells keine Änderungen der gesetzten Parameter vorgenommen. Hier bleibt hinreichend Spielraum für Änderungen und Diskussionen.

In dieser Studie werden Jahressummen potentiell bereitstellbarer und nachgefragter Energiemengen untersucht. Um eine Deckung des Energiebedarfs zu jedem Zeitpunkt des Jahres garantieren zu können, müsste auf zeitliche Angebots- und Nachfrageschwankungen wie zwischen Sommer und Winter bzw. Tag und Nacht eingegangen werden. Auch die regionale Verteilung von Angebot und Nachfrage nach Energieträgern wird in dieser Arbeit nicht detailliert behandelt, stellt aber im Einzelfall ein wichtiges Kriterium für realistische Versorgungsoptionen dar.

Derzeit werden im Modell die Kokerei, Hochöfen und solche Öfen, in denen Kohle in direktem Kontakt im Prozess benötigt wird, nicht abgebildet. Weiters wurden auch die Bereiche der stofflichen Nutzung fossiler Rohstoffe entsprechend dem Schwerpunkt auf der Energiebereitstellung nicht betrachtet. Möglichkeiten der Substitution fossiler Rohstoffe müssen in weiterer Folge untersucht werden. Um den Energiebedarf näher an die Potentiale heranzubringen würde sich auch die Stärkung des Energieträgers Strom bei Industrieöfen anbieten. Durch Nutzung der absehbaren Potentiale könnte man die Defizite auf Seite der biogenen Energieträger verringern. Hier müsste die technologische Umsetzbarkeit in den einzelnen Branchen untersucht werden. Auch die vorhandenen Möglichkeiten der Solarthermie zur Prozessdampfbereitstellung werden in dieser Studie noch nicht in der Modellierung betrachtet.

Im Verkehrsbereich fällt auf, dass laut Schätzungen etwa ein Drittel des österreichischen Treibstoffbedarfs nicht in Österreich verbraucht wird. Diese und die Treibstoffmengen für

den Flugverkehr, etwa ein Zehntel des Bedarfs in diesem Bereich, werden in der Studie nicht betrachtet. Hier müssten ebenfalls weitere Untersuchungen folgen. Dazu kommt, dass der österreichische Gebäudestand im Bereich der Wohngebäude gut erfasst ist, bei Nichtwohngebäuden aber kaum Informationen verfügbar sind. Hier und in anderen Bereichen ist der Energiefluss durch die Volkswirtschaft nur unvollständig nachvollziehbar. Daher müssten verstärkt Verbrauchsdaten zusammengetragen und analysiert werden. Regionale und zeitliche Verteilungen der Potentiale und des Energiebedarfs werden in dieser Studie nicht betrachtet, eine Verknüpfung mit Ergebnissen von Studien, die diese Zusammenhänge abbilden sollte gesucht werden.

Im Sektor Industrie wird in der Modellierung derzeit davon ausgegangen, dass die Charakteristik des Nutzenergiebedarfs unverändert bleibt. Die gestiegenen Holzeinschlagsmengen wurden aber über den Prozess der Sägeindustrie geführt, ohne äquivalent steigende Holz-mengen an die weitere Holzverarbeitung und Papiererzeugung abzuführen. Bei einer zukünftig stärkeren Substitution fossiler stofflich genutzter Rohstoffe durch biogene Rohstoffe könnte sich die Produktion der holzverarbeitenden Industrien erhöhen, was eine verstärkte stoffliche Nutzung bedeutet. Andererseits könnten Produktivitätssteigerungen in der Landwirtschaft hier zusätzliche Potenziale schaffen. Diese Veränderungen im Bereich der stofflichen Nutzung wurden hier nicht betrachtet.

Aufbauend auf diese Arbeit könnten derzeit vorhandene und geplante Strategien auf ihren Beitrag zur Bedarfsdeckung aus erneuerbaren Energieformen untersucht werden. Die zukünftig notwendig scheinenden Energiedienstleistungen müssten diskutiert und ein dafür passendes auf erneuerbarer Basis stehendes Energiesystem entwickelt werden. In weiterer Folge müssten die notwendigen Kosten der Umstellung des Energiesystems und die Effekte auf die nationale und regionale Wertschöpfung betrachtet werden. Bedenkt man die Ergebnisse der Klimaszenarien des Weltklimarats, so ist eine Forcierung nachhaltiger Konzepte voraussichtlich langfristig finanziell am günstigsten und würde gleichzeitig eine Stabilisierung des Weltklimas ermöglichen.

Abkürzungen

AEA	Austrian Energy Agency
BFW	Bundesforschungs- und Ausbildungszentrum für Wald, Naturgefahren und Landschaft
BGF	Bruttogeschossfläche
BH	Brennholz mit Rinde
BHKW	Blockheizkraftwerk
Bio-SNG	Biological Synthetic Natural Gas
BIPV	Building Integrated Photovoltaic
BMLFUW	Bundesministerium f. Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft
BMWA	Bundesministerium f. Wirtschaft und Arbeit
COP	Conference of the Parties
DE	Dampferzeugung
EEG	Energy Economics Group
EFA	Energieflussanalyse
EFH	Ein- und Zweifamilienhaus
GBA	Geologische Bundesanstalt
GuD	Gas- und Dampfturbine
HEM	Holzeinschlagsmeldung
HWB	Heizwärmebedarf
IEA	International Energy Agency
IÖ	Industrieöfen
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change
IRH	Industrierundholz

IV	Inlandsverwendung
KH	Kapppholz
KWK	Kraft-Wärme-Kopplung
LCA	Life Cycle Assessment
LCI	Life Cycle Inventory
LCIA	Life Cycle Impact Assessment
LCC	Life Cycle Costing
LCWT	Life Cycle Working Time
MFH	Mehrfamilienhaus
MIV	Motorisierter Individualverkehr
NEA	Nutzenergieanalyse
NWG	Nichtwohngebäude
ORC	Organic Rankine Cycle
ÖBf	Österreichische Bundesforste
ÖV	Öffentlicher Verkehr
ÖWI	Österreichische Waldinventur
PV	Photovoltaik
Ri	Rinde
RW	Raumwärme
SERI	Sustainable Europe Research Institute
SNP	Sägenebenprodukte
SRES	Special Report on Emission Scenarios
SRH	Sägerundholz
ST	Solarthermie
SVG	Selbstversorgungsgrad

UNEP	United Nations Environment Programme
UNFCCC	United Nations Framework Convention on Climate Change
VEÖ	Verband der Elektrizitätswerke Österreichs
VÖEW	Vereinigung Österreichischer Elektrizitätswerke
WEM	World Energy Model
WEO	World Energy Outlook
WHG	Waldhackgut
WIFO	Österreichisches Institut für Wirtschaftsforschung
WMO	World Meteorological Organization
WNF	Wohnnutzfläche
WP	Wärmepumpe
WRRL	(Europäische) Wasserrahmenrichtlinie
WW	Warmwasser

Glossar

Anwendungstechnologie: Darunter wird in dieser Arbeit eine Technologie verstanden, die zur Umwandlung von Endenergie in Nutzenergie bzw. Energiedienstleistungen herangezogen wird.

Bedarfsseite: In dieser Arbeit verwendeter Begriff für jenen Abschnitt des nationalen Energiesystems, der die Umwandlung von Endenergie in Nutzenergie bzw. Energiedienstleistung darstellt.

Bereitstellungsseite: In dieser Arbeit verwendeter Begriff für jenen Abschnitt des nationalen Energiesystems, der die Umwandlung von Primärenergie in Energieträger darstellt. Dieser Abschnitt beinhaltet nicht den Transport von Energieträgern und nicht die großtechnische Umwandlung.

Biogas: Unter Biogas wird in dieser Arbeit Biogas in Erdgasqualität verstanden, nach der Abtrennung des bei biologischer Vergasung ebenfalls entstehenden Kohlendioxids.

Biomasse fest: Unter Biomasse fest werden in dieser Arbeit alle in die Modellierung eingeflossenen festen Biomassebrennstoffe verstanden. Eine Ausnahme bildet hier die in der Zellstoffproduktion anfallende Dicklaug, die ebenfalls zur festen Biomasse gezählt wird, da keine Kessel für flüssige Brennstoffe in der KWK modelliert werden.

Biomasse flüssig: Unter Biomasse flüssig werden in dieser Arbeit alle in die Modellierung eingeflossenen flüssigen Biomassebrennstoffe verstanden. Eine Ausnahme bildet hier die in der Zellstoffproduktion anfallende Dicklaug, die zur festen Biomasse gezählt wird, da keine Kessel für flüssige Brennstoffe in der KWK modelliert werden.

Brennwert: Energiemenge, die bei vollständiger Oxidation eines Brennstoffes frei wird, inklusive der im gebildeten Wasserdampf enthaltenen Verdampfungswärme.

Endenergie: Energieinhalt von Energieströmen bzw. Energieträgern am Ort der Umwandlung in daraus gewünschten Nutzen

Energiedienstleistung: Von Konsumenten nachgefragte Dienstleistung, zu deren Bereitstellung Energie eingesetzt wird (Behaglichkeit im Wohn- und Arbeitsbereich, Überbrückung einer räumlichen Distanz, Beleuchtung des Arbeits- und Wohnbereichs, ...). In dieser Arbeit

erfolgt eine Darstellung der Energiedienstleistung nur in den Bereichen Verkehr und Raumwärme.

Energiebereitstellungskette: Zur Bereitstellung von Energiedienstleistungen eingesetzte Abfolge von Umwandlungsstufen, um Primärenergie in Nutzenergie umzuwandeln.

Heizwert: Energiemenge, die bei vollständiger Oxidation eines Brennstoffes frei wird, abzüglich der im gebildeten Wasserdampf enthaltenen Verdampfungswärme.

Nutzenergie: Energiemenge, die unter Einsatz einer Anwendungstechnologie zur Bereitstellung einer gewünschten Energiedienstleistung bereitsteht (Anteil des Brennstoffes, der im Verbrennungsmotor in Bewegung umgewandelt wird, Lichtemission einer Lampe, ...).

Primärenergie: Der Energieinhalt von genutzten Energieströmen bzw. Energieträgern, die noch keiner technischen Umwandlung unterzogen wurden (Strahlungsenergie der Sonne, Energieinhalt des Windes, ...).

Umrechnungsfaktoren

$$1 \text{ kWh} = 3,6 \text{ MJ}$$

$$1 \text{ ha} = 10.000 \text{ m}^2$$

$$\text{Kilo} \quad 10^3$$

$$\text{Mega} \quad 10^6$$

$$\text{Giga} \quad 10^9$$

$$\text{Tera} \quad 10^{12}$$

$$\text{Peta} \quad 10^{15}$$

$$\text{Exa} \quad 10^{18}$$

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Energieflussbild Österreich 2005 (Quelle: Österreichische Energieagentur) ...	8
Abbildung 2: Entwicklung des Endenergieverbrauchs nach Sektoren (Quelle: Statistik Austria).....	9
Abbildung 3: Energetischer Endverbrauch Österreichs 2005 nach Energieträger (Quelle: Statistik Austria).....	10
Abbildung 4: End- und Nutzenergie in Österreich 2005 (Quelle: Statistik Austria)	11
Abbildung 5: Zusammenhang zwischen Modell und Original (eigene Darstellung in Anlehnung an (Kastens & Kleine Büning 2005))	16
Abbildung 6: Datensatz des Prozesses „KWK –WG – Dampfturbine“	29
Abbildung 7: Hierarchiestruktur in GaBi; aus (PE INTERNATIONAL GmbH 2007).....	30
Abbildung 8: Prozessplan in GaBi.....	31
Abbildung 9: GaBi Parameter-Explorer	31
Abbildung 10: Darstellung von Aufteilglied und Durchgangsglied.....	39
Abbildung 11: Darstellung des Ausgleichsgliedes Strom.....	40
Abbildung 12: Prozessplan „Energiesystem“	42
Abbildung 13: Ausschnitt aus dem Prozessplan „Energiesystem“, Bereitstellung von Energieträgern.....	46
Abbildung 14: Prozessplan „Wasserkraft“	49
Abbildung 15: Prozessplan „Windkraft“	52
Abbildung 16: Prozessplan „PV Dach“	57
Abbildung 17: Prozessplan „Geothermie, Tiefe“	62
Abbildung 18: Prozessplan „Biomasse, landwirtschaftlich“	64
Abbildung 19: Prozessplan „Grünland“	66

Abbildung 20: Prozessplan „Pflanzen auf dem Ackerland zur Lebens-, Futtermittelbereitstellung und stofflichen Nutzung“	72
Abbildung 21: Prozessplan „Energiepflanzen auf dem Ackerland“	74
Abbildung 22: Holzströme in Österreich 2005 (Quelle: (AEA 2007)).....	78
Abbildung 23: Prozessplan „Biomasse forstlich“	80
Abbildung 24: Prozessplan „Wald“	83
Abbildung 25: Ausschnitt aus dem Prozessplan „Energiesystem“, Umwandlung von Energieträgern	94
Abbildung 26: Prozessplan „KWK – UEA – wärmegeführt“	96
Abbildung 27: Prozessplan „KWK – KoEVU – Stromgeführt“	100
Abbildung 28: Ausschnitt aus dem Prozessplan „Energiesystem“, Bedarf an Energieträgern.....	104
Abbildung 29: Prozessplan „Raumwärme & Warmwasser“	108
Abbildung 30: Prozessplan „RW & WW – Stadt“	108
Abbildung 31: Prozessplan „RW & WW - Bedarf – Stadt - EFH“	112
Abbildung 32: Prozessplan „Technologie-Mix RW & WW – Stadt - EFH“	115
Abbildung 33: Prozessplan „Mobilität & Antriebe“	121
Abbildung 34: Prozessplan „Mobilität, Stadt (inkl. Umland)“	124
Abbildung 35: Prozessplan „Mobilität, Stadt inkl. Umland, 0 bis 5 km, MIV“	126
Abbildung 36: Prozessplan „Prozesswärme“	134
Abbildung 37: Prozessplan „Stromanwendungen“	135
Abbildung 38: Energieflussbild bei den Grundeinstellungen.....	140
Abbildung 39: Bewertung der Einstellungen in den Potentialen der Energieträgerbereitstellung	141
Abbildung 40: Energieflussbild bei Szenario „Senkung Raumwärmebedarf“	144

Abbildung 41: Energieflussbild bei Szenario	
„Technologieänderung Raumwärme & Warmwasser“	147
Abbildung 42: Energieflussbild bei Szenario	
„Technologie- und Strukturänderung Mobilität“	151
Abbildung 43: Bewertung der Szenarien.....	155

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Anzahl der Subebenen in den jeweiligen Modellbereichen.....	45
Tabelle 2: Wasser-Kraftwerkspark Österreich 2006 (Quelle: (E-Control GmbH 2007))	48
Tabelle 3: Derzeitige Nutzung der Wasserkraft und Potential bei beschriebenen Modelleinstellungen	50
Tabelle 4: Windkraftanlagen im Jahr 2007, Potential für 2020 und Potential langfristig (Quelle: (Hantsch & Moidl 2007) und eigene Annahmen)	53
Tabelle 5: Derzeitige Nutzung der Windkraft und Potential bei beschriebenen Modelleinstellungen	54
Tabelle 6: Eigenschaften der in das Modell implementierten PV-Technologien (Quelle: Eigene Berechnungen auf Basis(Jungbluth, et al. 2008) &(Fechner, et al. 2007))	58
Tabelle 7: Derzeitige Nutzung der PV und Potential bei beschriebenen Modelleinstellungen	60
Tabelle 8: Derzeitige Nutzung tiefer Geothermie und Potential bei beschriebenen Modelleinstellungen	62
Tabelle 9: Tierhaltung auf dem Grünland (Quellen: eigene Berechnungen v. a. auf Basis (BMLFUW 2008 C),(EG 1991), (Statistik Austria 2007))	67
Tabelle 10: Biogas aus landwirtschaftlicher Grünlandnutzung (Quelle: eigene Berechnungen auf Basis (FNR 2006), (Simon 2006), (Buchgraber 2007))	68
Tabelle 11: Ackerflächen für die Lebens-, Futtermittelbereitstellung sowie zur stofflichen Nutzung (Quelle: eigene Berechnungen v. a. auf Basis (Statistik Austria 2006), (Statistik Austria 2008 D), (Statistik Austria 2008 E), Versorgungsbilanzen aus (BMLFUW 2008 C))	71
Tabelle 12: Energieträger aus Ackerpflanzen (Quelle: eigene Berechnungen auf Basis (Statistik Austria 2006), (Statistik Austria 2008 D), (Statistik Austria 2008 E), (KTBL 2006), (FNR 2006), (FNR 2008))	73
Tabelle 13: Derzeitige Energieträgerbereitstellung aus der Landwirtschaft und Potential bei beschriebenen Modelleinstellungen	75

Tabelle 14: Zuwachs und Nutzung im österreichischen Wald (Quelle: eigene Berechnungen auf Basis (Schadauer 2002), (Schadauer 2007))	83
Tabelle 15: Biomassepotential aus dem Wald bei beschriebenen Einstellungen nach Sortimenten (Quelle: eigene Berechnungen, (AEA 2007), (BMLFUW 2006)).....	84
Tabelle 16: Nutzung von Kurzumtriebsplantagen und Flurgehölzen (Quelle: eigene Berechnung auf Basis (KTBL 2006), (Statistik Austria 2008 B), (AGRAR PLUS 2003))	86
Tabelle 17: Bedarf und Produktion (betrachteter Anteil) der Holzverarbeitenden Industrien 2005 (Quelle: (AEA 2007), (Austropapier 2007))	88
Tabelle 18: Eigenschaften und Erträge forstlicher Biomasse (bei derzeitigen Modell- einstellungen) (Quelle: eigene Berechnungen auf Basis (LWF 2007), ECOINVENT, (Austropapier 2007)).....	89
Tabelle 19: Derzeitige energetische Nutzung von Holz und holzartigen Abfällen und Potential bei beschriebenen Modelleinstellungen ohne Dicklaube und Altholz ...	90
Tabelle 20: Bereitstellung von Energieträgern aus erneuerbaren Quellen derzeit und bei beschriebenen Einstellungen.....	93
Tabelle 21: Prozesscharakteristik wärmegeführter betriebsinterner KWK (Quelle: auf Basis (TTM 2002))	99
Tabelle 22: Prozesscharakteristik der KWK Kommunaler EVUs (Quelle: auf Basis (TTM 2002))	101
Tabelle 23: Wohnhäuser, Be- & Zustand, nach Siedlungsdichte & Bauperiode, Einwohner (Quelle: eigene Berechnungen auf Basis(Statistik Austria 2008 F), (Lang 2007), (VCÖ 2008)).....	111
Tabelle 24: Wärmebedarf RW & WW bei beschriebenen Einstellungen.....	113
Tabelle 25: Technologien zur Bereitstellung von Wärme (Quelle: ECOINVENT).....	116
Tabelle 26: Grundeinstellungen der Anteile der verschiedenen Technologien an der Bedarfsdeckung im Bereich Raumwärme und Warmwasser	117

Tabelle 27: Personenverkehrsleistungen nach Siedlungsdichte und Transportmittel (Quelle: eigene Berechnungen auf Basis (Herry, et al. 2007), (NoeLak 2003), (MA 18 2006), (Shell Austria GmbH 2004))	123
Tabelle 28: Güterverkehrsleistungen Nah- und Fernverkehr (Quelle: eigene Berechnungen auf Basis, (Herry, et al. 2007), (Statistik Austria 2008 G)).....	125
Tabelle 29: Technologien für die Mobilität im Öffentlichen Verkehr (Quelle: eigene Berechnungen auf Basis ECOINVENT, (Ernst Basler + Partner AG 2002), (FNR 2006), (FNR 2008)).....	127
Tabelle 30: Technologien für die Mobilität im Motorisierten Individualverkehr (MIV) (Quelle: eigene Berechnungen auf Basis EVOINVENT, (Pehnt, et al. 2007), (FNR 2006), (FNR 2008))	127
Tabelle 31: Technologien im Güterverkehr (Quelle: eigene Berechnungen auf Basis ECOINVENT, (Bittermann 2007), (FNR 2008))	128
Tabelle 32: Grundeinstellungen Technologie-Mix im Personenverkehr.....	129
Tabelle 33: Grundeinstellungen Technologie-Mix im Güterverkehr	129
Tabelle 34: Energiebedarf Mobilität und Motoren bei den beschriebenen Einstellungen	131
Tabelle 35: Ergebnisse der Grundeinstellungen im Bereich der Prozesswärme	134
Tabelle 36: Endenergiebedarf und Nutzenergie bei den beschriebenen Modelleinstellungen	136
Tabelle 37: Differenz zwischen Bedarf und Bereitstellung bei den Grundeinstellungen.....	139
Tabelle 38: Nutzenergiebedarf und dafür benötigte Energieträger bei den Grundeinstellungen	140
Tabelle 39: Veränderungen im Heizwärmebedarf für Szenario 1	142
Tabelle 40: Nutzenergiebedarf und dafür benötigte Energieträger vor und bei Szenario 1	143
Tabelle 41: Differenz zwischen Bedarf und Bereitstellung vor und bei Szenario 1.....	143
Tabelle 42: Veränderungen in den Technologien zur Raumwärme & Warmwasserbereitstellung in der Stadt für Szenario 2.....	145

Tabelle 43: Veränderungen in den Technologien zur Raumwärme & Warmwasserbereitstellung am Land für Szenario 2	146
Tabelle 44: Nutzenergiebedarf und dafür benötigte Energieträger vor und bei Szenario 2	146
Tabelle 45: Differenz zwischen Bedarf und Bereitstellung vor und bei Szenario 2.....	147
Tabelle 46: Veränderungen in den Technologien zur Mobilitätsbereitstellung Personenverkehr in der Stadt für Szenario 3.....	148
Tabelle 47: Veränderungen in den Technologien zur Mobilitätsbereitstellung Personenverkehr in ländlichen Regionen für Szenario 3.....	149
Tabelle 48: Veränderungen in den Technologien zur Mobilitätsbereitstellung Güter Nah- und Fernverkehr für Szenario 3	149
Tabelle 49: Nutzenergiebedarf und dafür benötigte Energieträger vor und bei Szenario 3	150
Tabelle 50: Differenz zwischen Bedarf und Bereitstellung vor und bei Szenario 3.....	150
Tabelle 51: Vergleich Energieträger- und Nutzenergiebedarf bei Grundeinstellungen und nach den Szenarien	151
Tabelle 52: Vergleich der Bedarfsdeckung bei Grundeinstellungen und nach den Szenarien	152

Literaturverzeichnis

- AEA (2007):** *Holzströme in Österreich 2005*. Wien: Austrian Energy Agency (AEA), 2007.
- AEA (2008):** *NÖ Klimaprogramm 2009-2012, Anhang*. Wien: Austrian Energy Agency (AEA), 2008.
- AGRAR PLUS (2003):** *Potentiale für biogene Rohstoffe zur energetischen Nutzung*. St.Pölten: AGRAR PLUS, 2003.
- Amon, T., et al. (2008):** *Integrierte Systeme - Sieben Antworten und Fragen zur Nutzung von Bioenergie*. In: *Wissenschaft & Umwelt Interdisziplinär* Nr. 11, 2008. S. 162-171.
- Austropapier (2007):** *Die österreichische Papierindustrie 2006*. Wien: Austropapier, 2007.
- Barker, T., et al. (2007):** *Climate Change 2007: Mitigation. Contribution of Working Group III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change - Technical Summary*. Cambridge and New York: Cambridge University Press, 2007.
- Bernstein, L., et al. (2007):** *Climate Change 2007: Synthesis Report of the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. 2007.
- Biermayr, et al. (2008):** *Erneuerbare Energie in Österreich - Marktentwicklung 2007*. Wien: BMVIT, 2008.
- Bittermann, W. (2007):** *Energiebilanzen 1970 (1988) - 2005: Dokumentation der Methodik*. Wien: Statistik Austria, 2007.
- BMLFUW (2006):** *Holzeinschlag 2005*. Wien: BMLFUW, 2006.
- BMLFUW (2008 A):** *Die österreichische Saatgutwirtschaft 2007*. Wien: BMLFUW, 2008.
- BMLFUW (2008 B):** *Erneuerbare Energie 2020 - Potentiale in Österreich*. Wien: BMLFUW 2008.
- BMLFUW (2008 C):** *Grüner Bericht. Bericht über die Situation der österreichischen Land- und Forstwirtschaft*. Wien: BMLFUW, 2008.
- BMVBS (2007):** *Bekanntmachung der Regeln für Energieverbrauchskennwerte und der Vergleichswerte im Nichtwohngebäudestand*. Berlin: Bundesministerium f. Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (BMVBS), 2007.

- BMVIT (2007):** *Strategieprozess ENERGIE 2050, Zwischenstand zum Forschungsprogramm.* Wien: BMVIT, 2007.
- BMWA (2008):** *Energiestatus Österreich 2008.* Wien: BMWA, 2008.
- BMWFJ, BMLFUW (2009):** *Energiestrategie Österreich Web Site.* 3. Juli 2009.
<http://www.energiestrategie.at>. (Zugriff am 12. Juli 2009).
- Broder, J. M. (2009):** *House passes bill to address threat of climate change. The New York Times.* 26. June 2009.
<http://www.nytimes.com/2009/06/27/us/politics/27climate.html> (Zugriff am 12. Juli 2009).
- Buchgraber, K. (2007):** *Österreichisches Grünland ist schwer zu bearbeiten.* In: Online-Fachzeitschrift des BMLFUW, Jahrgang 2007.
- Dirks, U., Knobloch, E. [Hrsg.] (2008):** *Modelle.* Frankfurt am Main: Peter Lang, 2008.
- Doran, P. D., Zimmermann, M. K. (2009):** *Examining the Scientific Consensus on Climate Change.* In: EOS, Vol. 90, No. 3, Januar 2009.
- E-Control GmbH (2007):** *Kraftwerkspark in Österreich.* http://www.e-control.at/portal/page/portal/ECONTROL_HOME/STROM/ZAHLENDATENFAKTEN/NETZ_UND_KW/KRAFTWERKE. (Zugriff am 20. 01 2009).
- EEA (2008):** *Greenhouse gas emission trends and projections in Europe 2008.* Copenhagen: European Environmental Agency (EEA), 2008.
- EG (1991):** *Verordnung (EWG) Nr. 2092/91 des Rates über den ökologischen Landbau und die entsprechende Kennzeichnung der landwirtschaftlichen Erzeugnisse und Lebensmittel.* Rat der europäischen Gemeinschaft, 1991.
- Einfalt, A., et al. (2009):** *ADRES Concept - Micro Grids in Österreich.* 6. Internationale Energiewirtschaftstagung an der TU Wien. Wien: IEWT, 2009.
- Englisch, M., et al. (2009):** *Energiewälder im Kurzumtrieb - Möglichkeiten und Grenzen.* In: BFW-Merkblatt Nr.18 - 2009. S. 15-17
- Ernst Basler + Partner AG (2002):** *Systemvergleich Trolley-, Diesel- und (Bio-) Gasbus.* Zollikon, 2002.

European Parliament (2008): *Texts adopted by the European Parliament, Wednesday, 17 December 2008, Strasbourg.* 19. December 2008.
<http://www.europarl.europa.eu/sides/getDoc.do?pubRef=//EP//TEXT+TA+20081217+ITEMS+DOC+XML+V0//EN&language=EN>. (Zugriff am 12. Juli 2009).

Faninger, G. (2004): *Der Solarmarkt in Österreich 2003.* Klagenfurt-Wien-Graz: iff-Universität Klagenfurt, 2004.

Fechner, H., et al. (2007): *Technologie-Roadmap für Photovoltaik in Österreich.* Wien: BMVIT, 2007.

FNR (2006): *Handreichung: Biogasgewinnung und -nutzung.* Gülzow: Fachagentur nachwachsende Rohstoffe (FNR), 2006.

FNR (2008): *Biokraftstoffe - Basisdaten Deutschland.* Gülzow: Fachagentur nachwachsende Rohstoffe (FNR), 2008.

Foster, P., et al. (2007): *Changes in Atmospheric Constituents and in Radiative Forcing.* In: *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.* Cambridge and New York: Cambridge University Press, 2007.

Freyer, B. (2008): *Bio-Landwirtschaft und Klimaschutz in Österreich.* Wien: Institut für ökologischen Landbau an der BOKU, 2008.

Geoteam (2007): *Wasserwirtschaftliche Bewertung der Thermalwassernutzungen in Oberösterreich.* Linz: Amt der Oö. Landesregierung, 2007.

Gerstl, S. (2008): *Untergrund mit Zukunft – Interview mit Gregor Götzl.* In: *Economy - Unabhängige Zeitung für Forschung, Technologie und Wirtschaft*, Nr. 63, August 2008, S. 6.

Goldbrunner, J. (2005): *State, Possible Future Developments in and Barriers to the Exploration and Exploitation of Geothermal Energy in Austria - Country Update.* Proceedings of the World Geothermal Congress 2005. Antalya, 2005.

Götzl, G. (2008): Interview geführt von Marcus Hummel und René Boltz. Geologische Bundesanstalt (16. Oktober 2008).

Großmann, A., et al. (2008): *Erneuerbare Energie in Österreich: Modellierung möglicher Entwicklungsszenarien bis 2020.* Wien: SERI, 2008.

- Grubb, M. (2001):** *Who's afraid of atmospheric stabilisation? Making the link between energy resources and climate change.* In: Energy Policy (Elsevier), Nr. 29 (2001), S. 837-845.
- Haas, R., et al. (2006):** *Technologien zur Nutzung erneuerbarer Energieträger - wirtschaftliche Bedeutung für Österreich.* Wien: Dachverband Energie-Klima, Wirtschaftskammer Österreich, 2006.
- Haas, R., et al. (2007):** *Wärme und Kälte aus Erneuerbaren 2030.* Wien: Dachverband Energie-Klima, Wirtschaftskammer Österreich, 2007.
- Hantsch, S., Moidl, S. (2007):** *Das realisierbare Windkraftpotential in Österreich bis 2020.* St.Pölten: IG Windkraft, 2007.
- Heinrich, G. (2007):** *Allgemeine Systemanalyse.* München: Oldenburg Wissenschaftsverlag GmbH, 2007.
- Herry, M., et al. (2007):** *Verkehr in Zahlen.* Wien: BMVIT, 2007.
- Hirschfeld, J., et al. (2008):** *Klimawirkungen der Landwirtschaft in Deutschland.* Schriftenreihe des Instituts für ökologische Wirtschaftsforschung (IÖW) 186/08, Berlin: IÖW, 2008.
- Hörnig, B., et al. (2004):** *Ökologische Geflügelproduktion - Struktur, Entwicklung, Probleme, politischer Handlungsbedarf.* Fachbereich Ökologische Agrarwissenschaften, Universität Kassel. Bonn, Witzenhausen: Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung (BLE), 2004.
- IEA (2002):** *Potential for Building Integrated Photovoltaics.* Report IEA-PVPS T7-4:2002. St.Ursen: IEA, 2002.
- IEA (2008):** *World Energy Outlook 2008.* Paris: OECD/IEA, 2008.
- IPCC (1996):** *Technical Paper I: Technologies, Policies and Measures for Mitigating Climate Change.* IPCC Working Group II, 1996.
- IPCC (2009):** *Intergovernmental Panel on Climate Change Web Site.* <http://www.ipcc.ch/> (Zugriff am 18. Juni 2009).
- Jochem, E. (2008):** *Hoffnungen, Illusionen, Optionen - Energietechnologien, Energieprojektionen, Energiepolitik.* In: Wissenschaft & Umwelt Interdisziplinär Nr. 11, 2008. S. 8-15.
- Jungbluth, N., et al. (2008):** *Life Cycle Assessment of Photovoltaics: Update of ecoinvent data v2.0.* Uster: ESU-services Ltd., 2008.
- Kaltschmitt, M. [Hrsg.] (2001):** *Energie aus Biomasse.* Berlin/Heidelberg: Springer, 2001.

- Kaltschmitt, M. [Hrsg.] (2006):** *Erneuerbare Energien*. Berlin/Heidelberg: Springer, 2006.
- Kastens, U., Kleine Büning, H. (2005):** *Modellierung - Grundlagen und formale Methoden*. München/Wien: Carl Hanser Verlag, 2005.
- Kranzl, L., et al. (2008):** *Strategien zur optimalen Erschließung der Biomassepotentiale in Österreich bis zum Jahr 2050 mit dem Ziel einer maximalen Reduktion an Treibhausgasemissionen*. Wien: BMVIT, 2008.
- Kratena, K., Wüger, M. (2005):** *Energieszenarien für Österreich bis 2020*. Wien: Österreichisches Institut für Wirtschaftsforschung (WIFO), 2005.
- Krey, V. (2006):** *Vergleich kurz- und langfristig ausgerichteter Optimierungsansätze mit einem multi-regionalen Energiesystemmodell unter Berücksichtigung stochastischer Parameter*. Dissertation, Ruhr-Universität Bochum, Fakultät für Maschinenbau. Bochum, 2006.
- KTBL (2006):** *Energiepflanzen - Daten für die Planung des Energiepflanzenanbaus*. Darmstadt: Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e. V. (KTBL), 2006.
- Lang, G. (2007):** *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.
- Lechner, H., et al. (2003):** *Machbarkeitsstudie "4 % Ökostrom bis 2008"*. Wien: Energieverwertungsagentur (EVA), 2003.
- LWF (2007):** *Der Energieinhalt von Holz und seine Bewertung*. LWF Merkblatt 12. Freising: Bayerische Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft (LWF), 2007.
- MA 18, (2006):** *Masterplan Verkehr Wien 2003*. Wien: Magistrat der Stadt Wien, Magistratsabteilung 18 (MA 18), 2006.
- Mauser, H., Mannsberger, G. (2007):** *Holz- und Biomasseaufkommensstudie*. Vortrag im Rahmen der Holzgespräche Semmering, 19. 11 2007.
- Mayer, B. (2006):** *Die Energiesituation Österreichs im Jahr 2005 mit statistischen Übersichten und Kennzahlen*. Wien: Statistik Austria, Direktion Raumwirtschaft, Bereich Umwelt & Energie, 2006.
- NoeLak (2003):** *Mobilität in NÖ - Ergebnisse der landesweiten Mobilitätsbefragung 2003*. St.Pölten: Niederösterreichische Landesakademie (NoeLak), Amt der NÖ Landesregierung, 2003.

Öhlinger, C., et al (2009): *Revitalisierung von Kleinwasserkraftwerken*. Linz: OÖ-Energiesparverband.

http://www.res-regions.info/RESregions/fileadmin/res_e_regions/WP_2/ESV_BroKleinwasserkraft-fin-9.3.pdf (Zugriff am 20. 01 2009).

PE INTERNATIONAL GmbH (2007): *GaBi 4: Software und Datenbank zur Ganzheitlichen Bilanzierung*. Stuttgart: PE INTERNATIONAL GmbH, 2007.

Pehnt, M., et al. (2007): *Elektromobilität und erneuerbare Energien*. Arbeitspapier im Rahmen des Projekts „Energiebalance – Optimale Systemlösungen für Erneuerbare Energien und Energieeffizienz“. Ifeu – Institut für Energie- und Umweltforschung Heidelberg; Wuppertal Institut für Klima, Umwelt, Energie. Heidelberg, Wuppertal, 2007.

Pöyry (2008): *Wasserkraftpotentialstudie Österreich*. Wien, 2008.

Raab, F. (2007): *Bioenergie vom Acker - Potenziale in Österreich und in der erweiterten EU*. Vortrag im Rahmen der Wintertagung des Ökosozialen Forums Österreich 2007. Hollabrunn, 13. 02 2007.

Rausen, T., et al. (2008): *Großtechnische Biogasanlagen - Konzeption, Energieerzeugung, Gas- und Gärrestaufbereitung*. Kassel: Witzenhausen-Institut GmbH, 2008.

Resch, G., Faber, T. (2007): *Short characterisation of the model Green-X*. Wien: Energy Economics Group (EEG), 2007.

Schadauer, K. (2002): *Ergebnisse der Österreichischen Waldinventur 2000 - 2002*. <http://web.bfw.ac.at/i7/oewi.oewi0002>. Wien: BFW, 2002.

Schadauer, K. (2007): *Biomassepotential auf der Basis der Österreichischen Waldinventur*. In: BFW - Praxisinformation Nr.13 - 2007. Wien: BFW, 2007. S. 6-7.

Schandl, H., et al. (2002): *Handbook of Physical Accounting - Measuring bio-physical dimensions of socio-economic activities*. Wien: BMLFUW, 2002.

Schindler, J., Zittel, W. (2008): *Energieszenarien - kritische Anmerkungen zu prominenten Beispielen*. In: Wissenschaft & Umwelt Interdisziplinär Nr. 11, 2008. S. 16-21.

Schramek, E. [Hrsg.] (2007): *Taschenbuch für Heizung + Klimatechnik 07/08*. München: Oldenbourg Industrieverlag, 2007.

Schwab, A. (2008): *Neue Schaufeln für mehr Energie.* In: Die Presse Forschung, Magazin für Technologie und Innovation, Wien: 2008.

Seemann, M., et al. (2005): *Methanisation of BioSynGas and simultaneous low-temperature reforming: first results of long duration tests at the FICFB gasifier in Güssing.* 14th European Biomass Conference & Exhibition. Paris, 2005.

Shell Austria GmbH (2004): *Mobilitäts-Szenarien 2035 - Initiative zur nachhaltigen Verkehrsentwicklung im Raum Wien.* Wien: Shell Austria GmbH, 2004.

Sieferle, R. P. (2006): *Das Ende der Fläche.* Köln, Wien [u.a.]: Böhlau, 2006.

Simon, S. M. (2006): *Szenarien nachhaltiger Bioenergiepotentiale bis 2030 - Modellierung für Deutschland, Polen, Tschechien und Ungarn.* Dissertation, TU München, Lehrstuhl für Wirtschaftslehre des Landbaues. München, 2006.

Statistik Austria (2006): *Feldfruchternte 2006 - Endgültige Ergebnisse.* Wien: Statistik Austria, 2006.

Statistik Austria (2007): *Durchschnittliche Lebend- und Schlachtwegichte 2006.* Wien: Statistik Austria, 2007.

Statistik Austria (2008 A): *Anbau auf dem Ackerland 2007.* Wien: Statistik Austria, 2008.

Statistik Austria (2008 B): *Bodennutzung in Österreich 2006 - 2007.* Wien: Statistik Austria, 2008.

Statistik Austria (2008 C): *Energiebilanzen Österreich 1970 - 2007.* Wien: Statistik Austria, 2008.

Statistik Austria (2008 D): *Feldfruchternte 2007 - Endgültige Ergebnisse.* Wien: Statistik Austria, 2008.

Statistik Austria (2008 E): *Feldfruchternte 2008 - Endgültige Ergebnisse.* Wien: Statistik Austria, 2008.

Statistik Austria (2008 F): *Wohnen 2007 - Ergebnisse der Wohnungserhebung im Mikrozensus.* Wien: Statistik Austria, 2008.

Statistik Austria (2008 G): *Verkehrsstatistik 2007, Güterverkehr - Verkehrsleistungen.* Wien: Statistik Austria, 2008.

TTM (2002): *energytech.at - TechnologiePortrait Kraft-Wärme-Kopplung (KWK).* Institut für thermische Turbomaschinen und Maschinendynamik (TTM), TU Graz. Wien: BMVIT, 2002.

UBA (2007): *Kyoto-Fortschrittsbericht Österreich 1990-2005*. Wien: Umweltbundesamt (UBA), 2007.

UN (1992): *United Nations Framework Convention on Climate Change*. New York City: UN, 1992

UN (1998): *Kyoto Protocol to the United Nations Framework Convention on Climate Change*. Kyoto: United Nations (UN), 1998.

UNFCCC (2009): United Nations Framework Convention on Climate Change Web Site.
<http://unfccc.int> (Zugriff am 28. Juni 2009).

VCÖ (2008): *Ballungsräume wachsen stark, aber Verkehr kann sich verringern*. VCÖ
Presseausendung, Ausgabe 2008-115, 27. August 2008.
<http://www.vcoe.at/start.asp?ID=4176&b=92> (Zugriff am 17. April 2009).

Verscheure, P. (1998): *Energieinhalt von Hackschnitzeln - Überblick und Anleitung zur Bestimmung*. Freiburg i. Br.: Forstliche Versuchs- und Forschungsanstalt Baden-Württemberg (FVA), 1998.

Volz, T. (1999): *Integration systematischer Analyse und Prognose in die Ganzheitliche Bilanzierung: Instrumentarium zur rechnergestützten Modellierung*. Aus der Reihe: Berichte aus der Umwelttechnik. Aachen: Shaker, 1999.

Welfens, M. J. (2008): *Klimaszenarien: Methoden und Kenntnisse*. Bonn: Bundeszentrale für politische Bildung (BPB), 2008.

Wietschel, M. (2002): *Stoffstrommanagement*. Frankfurt am Main: Peter Lang, 2002.

Winter, R. (2007): *Biokraftstoffe im Verkehrssektor in Österreich 2007*. Wien: Umweltbundesamt (UBA), 2007.

Wolters, D. (2001): *Struktur- und aktuersorientierte Szenarioanalyse eines nachhaltigen deutschen Energiesystems im internationalen Kontext*. Dissertation, Universität Osnabrück, Fachbereich Sozialwissenschaften. Wuppertal, 2001.

Wörgetter, M. (2008): *Energie und Rohstoffe aus der Landwirtschaft - Chancen und Grenzen*. Beitrag zur 63. ALVA Jahrestagung, Gumpenstein, 2008.

Zimov, S. A., et al. (2006): *Permafrost and the Global Carbon Budget*. In: Science (AAAS) 312, June 2006. S. 1612-1613.

Danksagung

Das Schreiben dieser Arbeit wäre ohne die unterstützende Mitwirkung von Kollegen und Freunden nicht möglich gewesen. Die tiefer gehende Auseinandersetzung mit einem Thema wird auf vielerlei Ebenen besonders durch den eingehenden Kontakt mit anderen Menschen gefördert und nachhaltig vorangetrieben. Auch wurden und werden viele Ideen erst durch ein Gespräch geboren, konkretisiert oder umgesetzt. Ich möchte mich bei allen bedanken, die auf Ihre jeweils eigene Weise bei der Entwicklung und Umsetzung dieser Arbeit geholfen haben. Explizit möchte ich mich bei Andreas Windsperger für die hervorragende Begleitung der Arbeit, bei meinem Bruder, meiner Mutter und meinem Vater für die immerwährende Unterstützung, bei Naré in guten wie in schlechten Zeiten, bei Christian, Christoph, Diana, Felix, Felix, Konrad und Maria für Korrekturvorschläge und bei den Kollegen vom Institut für Industrielle Ökologie für ein wundervolles Arbeitsklima bedanken. Herzlich bedanken möchte ich mich auch bei den Projektpartnern von Umwelt Management Austria für anregende Diskussionen und gemeinsame Datenrecherche. Dem Institut für Energiewirtschaft der TU Wien möchte ich für die spannende Heranführung an das Thema Energieversorgung und explizit Hr. Prof. Nakicenovic für die Zeit und das Interesse die Arbeit als zweiter Prüfer zu begleiten. Last but not least möchte ich mich beim Institut für Verfahrenstechnik der TU Wien für die hervorragende Betreuung während meiner Studienzzeit bedanken.