



Studie „Save our Surface“
im Auftrag des Österreichischen Klima- und Energiefonds

Argumentarium zu den Zwischenergebnissen.
„Save our Surface“. Landnutzungsänderungen in Österreich
durch verstärkte energetische Flächennutzung und globale
Ressourcenverknappungen.

Elmar Altvater, Michael Beham, Andreas Exner, Peter Fleissner, Margot Geiger, Andreas Gobiet, Gerald Kalt, Christian Lauk, Manfred Lexer, Thomas Mendlik, Jakob Schaumberger, Stefan Schörghuber, Ernst Schriefl, Werner Zittel

Klagenfurt, Dezember 2010

Inhaltsverzeichnis

1 EXECUTIVE SUMMARY	4
2 BASIS-PROJEKTINFOS „SAVE OUR SURFACE“	5
3 DIE „MEHRFACHKRISE“ UND IHRE URSACHEN.....	6
3.1 Ausgangslage.....	6
3.2 Monetäre Überschüsse und Finanzmärkte	7
3.3 Entwicklungen, Trends, Prognosen	8
3.4 Profitrate, Akkumulation und Wachstum	8
4 RESSOURCENASSESSMENT	12
4.1 Erdöl.....	12
4.2 Erdgas.....	17
4.3 Fossile Kohle.....	18
4.4 Mineralische Rohstoffe für die Düngemittelproduktion	21
4.5 Biomasse	23
5 VOLKSWIRTSCHAFTLICHE FOLGEN VON PEAK OIL.....	26
6 GLOBALE FOLGEN ZUNEHMENDER BIOMASSENUTZUNG	29
6.1 Ausgangslage.....	29
6.2 Landwirtschaft als „Krisenbrennpunkt“.....	30
6.3 Soziale und ökologische Folgen der Biomassenutzung	33
6.4 Landnahme zwischen „Land Grabbing“ und „Investitionen“	35
6.5 Ausweg „Zertifizierung“?.....	37
7 NORMATIVE SZENARIEN DER „SELBSTVERSORGUNG“	40
7.1 Einleitung	40
7.2 Ausgangssituation	40
7.3 Ernährungsautonomie bis 2050	42
7.4 Ernährungs- und Stoffautonomie bis 2050.....	44
7.5 Ernährungs-, Stoff- und Energieautonomie bis 2050	49
7.5.1 Das Szenario „Energieautonomie 2050“.....	49
7.5.2 Ergebnisse des „Energieautonomie 2050“-Szenarios.....	53
7.5.3 Kombinierte Szenarien	54
8 LAND- UND FORSTWIRTSCHAFT IM KLIMAWANDEL	57

8.1 Klimaszenarien	57
8.2 Landwirtschaftliche Flächennutzungspotenziale	57
8.2.1 Räumliche Simulation von Produktions- und Bedarfsszenarien.....	58
8.2.2 Ergebnisse	59
8.3 Forstwirtschaftliche Potenziale	62
8.3.1 Die verwendeten Modelle	62
8.3.2 Ausgangsdaten und Bewirtschaftungsszenarien	62
8.3.3 Ergebnisse	63
8.4 Autonomieszenarien der österreichischen Holzmärkte	66
9 LITERATUR.....	68

1 Executive Summary

Das weltweite **Ölfördermaximum** (Peak Oil) wurde mit großer Wahrscheinlichkeit bereits überschritten. Vieles deutet darauf hin, dass Mitteleuropa im Jahr 2030 vergleichsweise nur noch geringe Mengen Erdöl, und dieses zu überproportional hohen Kosten, importieren wird. Die Erdgasförderung in Europa hat den Höhepunkt überschritten. Sie wird bis zum Jahr 2030 vermutlich auf 15-20% der heutigen Förderung zurückgehen. Importe aus Russland werden abnehmen. Bei **fossiler Kohle** ist der Angebotspeak zwischen 2020 und 2030 zu erwarten. In Europa ist bereits wesentlich früher mit einer angespannten Versorgung zu rechnen.

Peak Oil führt zu einem Rückgang des wirtschaftlichen Outputs. Peak Oil wird zu Versorgungsengpässen und einer Beeinträchtigung von Produktionsabläufen führen, sofern nicht rechtzeitig eine Anpassung durch Reduktion des Gesamtverbrauchs fossiler Stoffe erfolgt. Eine post-fossile Wirtschaftsweise wird langsamer sein und mit geringeren Profiten oder ohne sie auskommen müssen. Öffentliche Güter und Dienste sind entscheidend.

An den Grenzen des fossilen Energiemodells wird verstärkt **Biomasse energetisch genutzt**. Vor allem die konventionelle landwirtschaftliche Produktion von Kraftstoffen ist ökologisch problematisch durch: Konversion ursprünglicher Ökosysteme; großflächige Monokulturen; hohen Wasserverbrauch; Einsatz von Pestiziden und Dünger; teilweise geringen Nettoenergiegewinn; Klimaschädlichkeit. Und ist sozial problematisch durch: verschärzte Ernährungsunsicherheit; Ausbleiben positiver Effekte auch bei Förderung von Kleinbauern (Brasilien); schlechte Arbeitsbedingungen auf Plantagen. Vermehrte stofflich Nutzung von Biomasse könnte Nutzungskonflikte weiter verschärfen. Zertifizierung kann die meisten dieser Probleme nicht lösen. Negative Folgen von profitorientierter und konzerndominierter Biomasseproduktion können minimiert werden, je weniger Biomasse auf diese Weise produziert wird.

Eine weitgehende **Autonomie** Österreichs in der Versorgung mit Nahrungs- und Futtermitteln, stofflich genutzter Biomasse und erneuerbarer Energie bis 2050 ist möglich bei: Starkem Rückgang des Konsums von Tierprodukten; starker Erhöhung von Recyclierungsraten; Konstanz des gesamten Materialverbrauchs; teilweisem Ersatz von Kunststoffen; deutlicher Reduktion des Energiebedarfs (inkl. 30%-Schrumpfung der Industrie und 80%-Schrumpfung des motorisierten Individualverkehrs). Der Stoffbedarf könnte bei intensiver Waldbewirtschaftung konstant gehalten werden. Die Klimawandelszenarien haben relativ geringen Einfluss auf die land- und forstwirtschaftlichen Produktionspotenziale.

Die Verknappung nicht-erneuerbarer Ressourcen kann die Produktivität einer **post-fossilen Landwirtschaft** beeinträchtigen. Dies gilt insbesondere für Phosphor, für den zwischen 2020 und 2030 ein Peak zu erwarten ist. Anders als Stickstoff kann Phosphor zudem nicht biogen erzeugt werden. Einer stärkeren Rezyklierung der Bodennährstoffe in der Landwirtschaft kommt daher zukünftig eine entscheidende Stellung zu.

2 Basis-Projektinfos „Save our Surface“

Gefördert vom Österreichischen Klima- und Energiefonds. Laufzeit: 2009-2011. Weitere Infos: <http://www.umweltbuero-klagenfurt.at/sos/>

Hintergrund: Weltwirtschaft und Agrarsektor sind derzeit auf fossile Stoffe angewiesen. Sollten sich fossile Ressourcen verknappen, wird die **Landfläche** als Energie- und Stofflieferant bedeutsamer. Auch der Klimaschutz verstärkt die Bedeutung der Land- und Forstwirtschaft als Biomasseproduzent. Umgekehrt könnten jedoch eine Verknappung fossiler Ressourcen und der Klimawandel die land- und forstwirtschaftlichen **Produktionspotenziale** verändern. Steigen im Zuge vermehrter Nachfrage die Biomasseimporte, würden **Nutzungskonflikte** in andere Regionen verlagert und dort **verschärft** werden. Zugleich hätte „Peak Oil“ starke Auswirkungen auf die Volks- und Weltwirtschaft. Eine Antwort auf die **Zwillingsherausforderung** „Peak Oil“ und „Klimawandel“ muss daher das **Gesamtsystem** in den Blick nehmen und eine **sozial verträgliche Landnutzung** als notwendige Grundlage nachhaltigen Wirtschaftens sichern.

Fragestellungen:

- (1) Wie gut verfügbar sind fossile Ressourcen, Phosphor und Kalium?
- (2) Wie verändert der Klimawandel bis 2050 die Potenziale der österr. Land- und Forstwirtschaft?
- (3) Welche Folgen hat Peak Oil global und national?
- (4) Welche Folgen hat zunehmende Biomassenutzung global?
- (5) Was wäre für einen hohen Grad an Selbstversorgung bei Energie, Nahrung und NAWAROs notwendig? Welche Folgen hätte dies national?
- (6) Welche Strategien sind angesichts „Peak Oil“ und Nutzungskonflikten sinnvoll?

Partner:

- Folgen des Klimawandels bis 2050 f. land- und forstwirtschaftliche Produktionspotenziale in Ö: *Wegener Zentrum f. Klima und Globalen Wandel (Univ. Graz), Dep. f. Wald- und Bodenwissenschaft (BOKU), LFZ Raumberg-Gumpenstein*
- Bedarfsszenarien f. Ernährung/stoffl. genutzte NAWAROs: *Inst. f. Soziale Ökologie (Univ. Klagenfurt)*; Bedarfsszenarien f. Energie: *energieautark consulting GmbH* in Koop. mit *pansol*; Bedarfsszenarien f. Holz: *Energy Economics Group (TU Wien)*
- Ressourcenassessments: *Ludwig-Bölkow-Systemtechnik GmbH*
- Volks- und weltwirtschaftliche Rahmenbedingungen und Auswirkungen von Ressourcenverknappungen: *Prof. P. Fleissner, Prof. E. Altvater, Margot Geiger*
- Projektmanagement, Politikanalyse: *Umweltbüro Klagenfurt GmbH, Verein GIVE*

3 Die „Mehrfachkrise“ und ihre Ursachen

3.1 Ausgangslage

Weitgehend unbestritten ist, dass das fossile Energiemodell an Grenzen gestoßen ist. Obendrein kann davon ausgegangen werden, dass auch bei vielen nicht-erneuerbaren Rohstoffen (mineralische Rohstoffe, seltene Erden etc.) in den kommenden zwei Jahrzehnten Grenzen der Verfügbarkeit hervortreten. Es ist dann fragwürdig, ob die Entwicklungstendenzen der vergangenen Jahrzehnte linear fortgesetzt werden können. Eine qualitative Trendanalyse bis 2030 wird also vor allem auf die Brüche in den Trends eingehen. Dabei wirken Trends bei Rohstoffen und Energie mit Konflikten um die Landnutzung zusammen. Abbildung 1 bringt das zum Ausdruck.

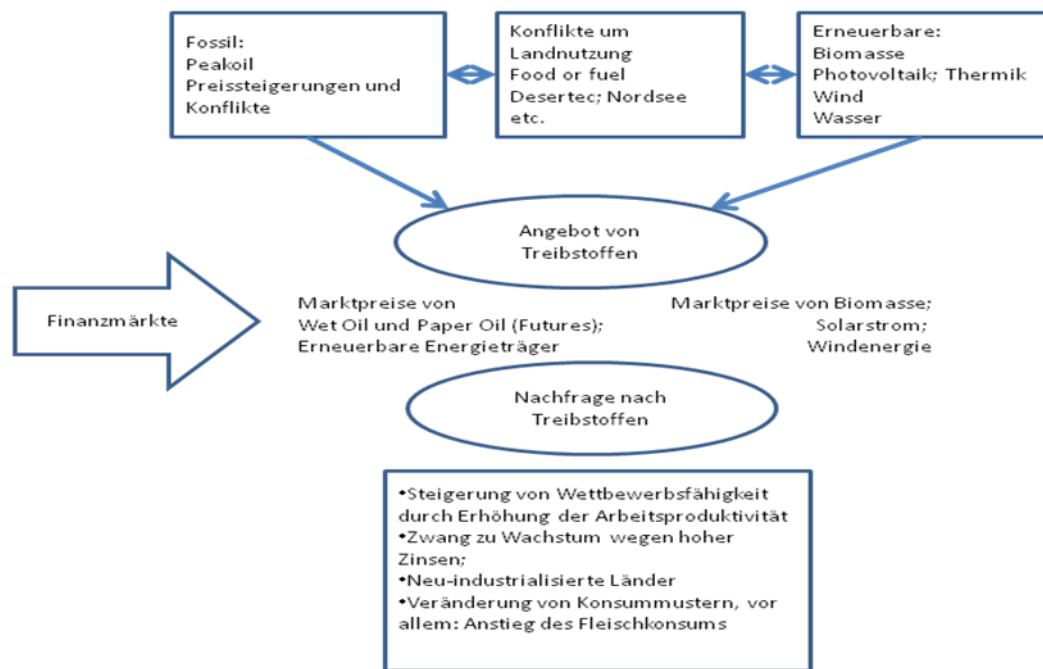


Abbildung 1: Zusammenhang zwischen Peak Oil, Biofuels und Wirtschaftssystem

Ausgangspunkt der Darstellung ist der **Markt für Treibstoffe**. Die Nachfrage ist vor allem bestimmt durch die technologischen Entwicklungslinien, die traditionell auf fossile Energieträger ausgerichtet sind. Denn mit ihnen sind (1) Fortschritte bei der **Steigerung der Arbeitsproduktivität**, um die Wettbewerbsfähigkeit auf globalen Märkten zu verbessern, so leicht möglich wie mit keinem anderen Energieträger. Denn die fossilen Treibstoffe bilden die energetische Voraussetzung für den Einsatz von mechanischen, elektrischen oder elektronischen Maschinen. Technische Innovationen, die die Arbeitsproduktivität steigern und die Stückkosten senken, können ohne billige Energiequellen nicht eingesetzt werden.

Obendrein wird (2) die Nachfrage dadurch beeinflusst, dass in den Gesellschaften im Zuge von **Modernisierungsprozessen** vorwiegend agrarisch geprägte von modernen urbanen und industriegesellschaftlichen Milieus abgelöst werden. Diese tendieren nicht nur dazu, mehr Energie nachzufragen, sondern vermehrt fossile Energieträger zu nutzen.

Der langfristige Trend zur Entbettung der kapitalistischen Marktwirtschaft aus den Naturbedingungen des Produzierens und Konsumierens, wird (3) befördert durch einen parallel stattfindenden **Wandel der Konsummuster**, z.B. infolge eines vermehrten Fleischverzehrs. Dadurch verschlechtert sich die Bilanz von Energieinput und -output. Folglich verringert sich auch die Zahl der Menschen, die von einem gegebenen Stück Land leben können, wenn sie vom Verzehr von Pflanzen zum Verzehr von Fleisch wechseln.

Auch ist (4) die Rolle der **globalen Finanzmärkte** bedeutsam. Denn deren Funktionsweise hat seit der sehr weitgehenden Liberalisierung in den 1980er Jahren steigende Renditen und daher einen hohen Druck zur Produktion realer Überschüsse zur Folge – auch wenn die so genannte „harte Budgetrestriktion“ von Geld und Kredit nichts daran ändern kann, dass die Überschüsse (etwa in der Form der realen Wachstumsraten des BIP) eine sinkende Tendenz aufweisen.

3.2 Monetäre Überschüsse und Finanzmärkte

Diese Zwänge sind es, die eine Fortsetzung des fossilen Energiemodells *einerseits* stützen, denn auf der vorherrschenden technisch-sozialen Entwicklungslinie können die zur Realisierung der **hohen Renditen** erforderlichen **realen Überschüsse** nur mit Hilfe fossiler Energieträger und mit den ihnen angemessenen Wandlungssystemen erzeugt werden. Der monetäre Druck zur Überschussproduktion hat einen politisch konservativen Charakter. Dieser kann *andererseits* als „**finanzielle Repression**“ so stark werden, dass die Produktion des realen Überschusses eingestellt wird. Sie ist schlicht nicht mehr rentabel und hält den Vergleich mit Renditen auf Finanzanlagen nicht aus.

Die Finanzmärkte müssen in die Analyse einbezogen werden, weil sie die ökonomische Entwicklung destabilisieren und in der Finanzkrise auch das Wachstum der „realen Ökonomie“ drücken. Die Finanzmärkte sind auch insofern für Prognosen von Bedeutung, als sowohl an der Input-Seite als auch an der Output-Seite der fossilen Energiekette Finanzmärkte Mengen und vor allem Preise beeinflussen. Das Öl (und andere fossile Energieträger) wird zwar als „**wet oil**“ in die fossile Energiekette eingespeist, aber auch als „**paper oil**“ auf Futures-Märkten gehandelt.

3.3 Entwicklungen, Trends, Prognosen

Innerhalb des „Umweltraums“ und fern von seinen Grenzen ist lineare Entwicklung möglich und vorstellbar, an den Grenzen des Umweltraums allerdings nicht. Blockaden der Entwicklung sind ebenso wenig auszuschließen wie plötzliche Durchbrüche auf Wegen, die nicht vorhersehbar waren und sind. Geraten die Produktionsbedingungen an Schranken, also an eine nichtlineare Verfügbarkeit von Ressourcen, sind quantifizierende Prognosen auf deterministischer Basis nicht sinnvoll. Auf Wahrscheinlichkeiten basierende Aussagen sind dann eher geeignet, das Geschehen zu kennzeichnen. Es geht nicht um exakte Prognosen, sondern um das Erkennen von „**Möglichkeitsfeldern**“, die vorhergesehen werden können, womöglich mit Wahrscheinlichkeiten ihres Eintreffens gekoppelt.

Im Verlauf der langfristigen Entwicklung kommt es immer wieder zu „**großen Krisen**“, in denen alle Verhältnisse zwischen den Klassen, das Verhältnis von Technik und Arbeitsorganisation, die Verteilung von Profiten und Löhnen, das Verhältnis von Ökonomie und Politik sowie das gesellschaftliche Naturverhältnis zur Disposition stehen und neu zu regeln sind. Wir befinden uns in einer solchen Situation. Die **ökologische** Krisenkomponente verleiht ihr einen historisch neuartigen Charakter.

Es ist daher nicht sinnvoll, die Krisen von Finanzen, Wirtschaft, Energie und Klima unabhängig voneinander zu behandeln, sie sind Ausdrucksformen einer „multiplen Krise“, einer **Mehrfachkrise**. Die „Mutter aller Krisen“ ist dabei das **Produktions- und Konsummodell der kapitalistischen Metropolen**. Das Konkurrenzprinzip, der in der Geldlogik „mehr ist besser als weniger Geld“ verankerte quantitative Wachstumsdrang und der Zwang zur Bedienung von Auslandsschulden verlangen hohe Zuwachsraten der Produktivität sowie Massenproduktion und Massenkonsum. Dieses Modell ist daher auch auf massenhaften Naturverbrauch in Form von Rohstoffen, von fossiler Energie, von Landflächen ausgelegt.

Die **Konkurrenz der Landnutzungsweisen** verlangt jedoch nach nachvollziehbaren Kriterien bei den Alternativentscheidungen für die Produktion von Nahrungsmitteln oder von Treibstoffpflanzen. Sind hier betriebswirtschaftliche Renditen ausschlaggebend, weil Betreiber der Produktion Kapitalgesellschaften sind, welche die Interessen von Shareholders zuvorderst bedienen müssen, oder kommen Kriterien wie Nahrungssicherheit zur Geltung? Könnte gar die von sozialen Bewegungen wie Via Campesina geforderte Ernährungssouveränität für Entscheidungen relevant sein?

3.4 Profitrate, Akkumulation und Wachstum

Im Unterschied zum Begriff des **Wachstums** umschreibt jener der **Akkumulation des Kapitals** einen komplexen ökonomischen, gesellschaftlichen und politischen Entwicklungsprozess mit all seinen Widersprüchen und Krisen. Während ökonomisches

Wachstum als eine quantitative Veränderung des Sozialprodukts statistisch gemessen wird, kann die Akkumulation als Kapitalzuwachs quantifiziert werden.

Akkumulation des Kapitals ist nur möglich, wenn die **realwirtschaftliche Profitrate positiv** ist und wenn erwartet werden kann, dass sie positiv bleibt und den Vergleich mit den auf Finanzmärkten erzielbaren Renditen aushält. Der Zusammenhang von Akkumulation und Profitrate ergibt sich schon aus der Beziehung von Investitionen (= akkumulierter Kapitalzuwachs $\Delta C = I$) zum gesamten vorgeschossten Kapital (C). Die Beziehung $\Delta C/C$ lässt sich erweitern zu $\Delta C/P \times P/C$, wobei P die Profite indiziert. Man kann nun vereinfachend unterstellen, dass die Investitionen nur aus den Profiten getätigt werden, dass also $P = I = \Delta C$ ist. Unter dieser Annahme wird $\Delta C / P = 1$ und die Akkumulationsrate ($\Delta C/C$) ist gleich der Profitrate (P/C). Die Profite (P) sind aber gleich dem Bruttoinlandsprodukt (Y) abzüglich der direkten und indirekten Lohn- und Gehaltseinkommen (W), d. h. die Profite sind ($P = Y - W$). Die Lohn- und Gehalts- sowie Transfereinkommensbezieher können aus ihren Einkommen nur wenig sparen, so dass der Zuwachs des Kapitals zum überwiegenden Teil oder ganz aus den Profiten stammt.

Wachstum in der Zeit und **Expansion im Raum** gehören zusammen, sie sind untrennbar. Die ständige Tendenz der Inwertsetzung hat die vertiefte und erweiterte Integration aller Regionen der Welt zur Folge. Der Weltmarkt wird hergestellt durch Welthandel, den Fluss von Direktinvestitionen, die Migration von Menschen. Wachstum ist keineswegs mit mehr Gleichheit in der Welt verbunden. Im Gegenteil, alle Faktoren, die das Wachstum steigern, fördern auch die **Ungleichheit**. Diese wird zu einer Lebenserfahrung und zu einem Ärgernis zumindest für jene, die zu den Benachteiligten gehören. Denn Wachstum basiert auf Akkumulation von Kapital, also auf der Ausbeutung der einen, die mehr produzieren als sie selbst zurückbekommen, und der Aneignung von Überschüssen durch die anderen.

Tatsächlich **gehen** im Gegensatz zu den Erwartungen derjenigen, die das Wachstum immer weiter beschleunigen wollen, die **realen Wachstumsraten** in der langen Frist, wenn auch ungleichmäßig, **zurück**. Dies lässt sich für alle Industrieländer zeigen. Nur vorübergehend hat die „nachholende“ Industrialisierung auch hohe, überdurchschnittliche Wachstumsraten zum Ergebnis. Hohes, quantitativ gemessenes Wirtschaftswachstum ist eine Folge einer **hohen Akkumulationsrate**, die aber nur zustande kommt, wenn die Profitrate hoch ist. Dies ist aber (1) eine Folge von **Verteilungsveränderungen** zu Lasten der Arbeitseinkommen und zu Gunsten der Profite und (2) das Ergebnis eines **Produktivitätsanstiegs**, der aber voraussetzt, dass neue Technologien eingesetzt und die sozialen, wissenschaftlichen, kulturellen Bedingungen dessen Erfordernissen angepasst werden. Damit eine hohe Wachstumsrate dauerhaft ist (oder über längere Zeitperioden gehalten werden kann), ist auch die **Energieversorgung** für den „Antrieb“ des Wachstums sicherzustellen.

Dabei kommt sofort die Frage auf, ob die Fortsetzung des Wachstumskurses möglich ist, ohne die sozialen, politischen, ökologischen Eigenschaften des Akkumulationsprozesses zu verändern. Es ist zwar eine attraktive Idee, das monetär in Euro ausgewiesene BIP durch

geeignete Indikatoren zu ersetzen (oder zu ergänzen), die das Glück, zumindest die **Zufriedenheit der Menschen** messen. Doch nützt eine alternative Messmethode nicht sehr viel, wenn das Gemessene nicht im Sinne der Kriterien des Messens verändert wird. Dann aber zeigt es sich, dass durchaus **materiale Eingriffe in Wirtschaft und Gesellschaft nötig** werden, in das Energiesystem, in die Funktionsweise der Finanzmärkte, in die Verfügungsmacht über Wirtschaftsprozesse.

Empirisch zeigt sich, dass Wachstum **nicht notwendigerweise zusätzliche Arbeitsplätze** bringt. Das ist auch nicht verwunderlich, da ja Innovationen mit ihrer die Produktivität steigernden Wirkung zu dem Zweck getätigt werden, die Arbeitskosten zu senken. Also müssen die Einsparungen bei den Löhnen und Gehältern größer sein als die in der gleichen Periode anfallenden Kosten der Netto-Investitionen.

Wenn sich die Wirtschaft an den solaren Rhythmus anpassen ließe und auf die Nutzung der erschöpflichen mineralischen und fossilen Ressourcen verzichtet würde, wäre das ewige (Wirtschafts)leben, angetrieben vom Energiestrom der Sonne, möglich. Es wird aber **langsamer** sein und **mit geringeren Profiten oder ohne solche** auskommen müssen.

Nachhaltigkeit ist nur machbar, wenn eine post-fossile, **solare Wirtschaft** entwickelt wird. Diese unterscheidet sich allerdings auch radikal von der prä-fossilen Wirtschaft, weil sie auf einer ganzen Reihe von technischen, sozialen und kulturellen Errungenschaften des fossilen Zeitalters aufbauen kann.

Das gilt in jeder Hinsicht, auch für die jeweils gegebenen Handlungsoptionen, die auf höherem Niveau von Kapitalakkumulation und Einkommen vielfältiger sind als auf niedrigerem. Daraus ergeben sich Möglichkeitsräume, die im Zeitalter der erneuerbaren Energieträger erschlossen werden können. Dabei ist wegen des „positionellen Charakters“ des industriell und mit fossilen Energieträgern produzierten Güterbündels – dessen Angebot nicht mit steigender Nachfrage ausgeweitet werden kann – die Versorgung mit **öffentlichen Gütern und Diensten** entscheidend.

Die zentralen Aussagen der Analyse der „**Mehrfachkrise**“ sind:

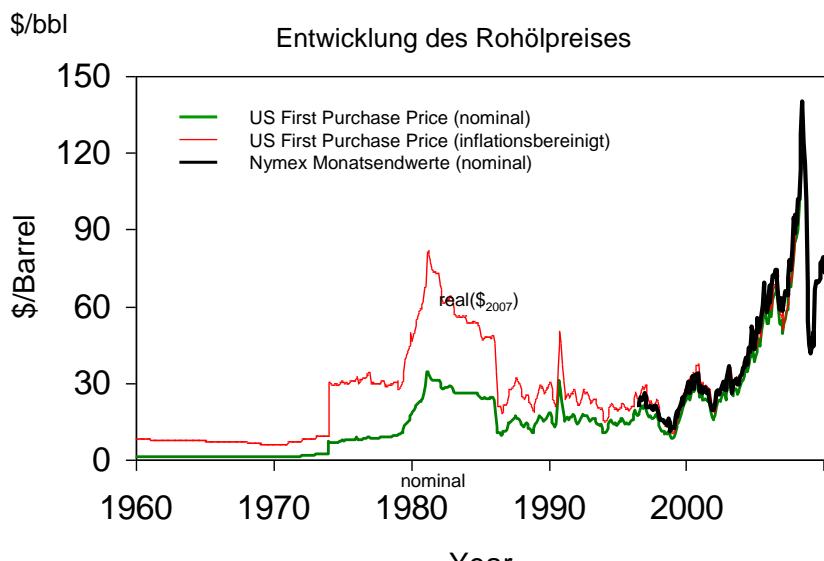
- (1) Die gegenwärtige „große Krise“ umfasst Energieversorgung, Klimastabilität, Realwirtschaft und Finanzsystem sowie Ernährung
- (2) Ihre Ursache ist das Produktions- und Konsummodell der kapitalistischen Metropolen
- (3) Dieses beruht wesentlich auf fossilen Ressourcen
- (4) Profitrate, Akkumulationsrate des Kapitals und Wachstumsraten des Bruttoinlandsprodukts fallen langfristig und systemnotwendig
- (5) Wirtschaftswachstum im Kapitalismus verstärkt Ungleichheiten und sichert per se keine Arbeitsplätze. Wirtschaftswachstum ist nicht für Lebenszufriedenheit erforderlich.

(6) Eine post-fossile, solare Wirtschaft wird langsamer sein und mit geringeren Profiten oder ohne solche auskommen müssen als dies in der fossilen Wirtschaft der Fall ist. Öffentliche Güter und Dienste sind für die post-fossile Wirtschaft entscheidend.

4 Ressourcenassessment

4.1 Erdöl

Im Sommer 2008 kletterte der Ölpreis kurz auf über 140 USD/Fass. Kurz darauf brach der Ölpreis auf unter 50 USD/Fass ein. Die Wirtschaftskrise, die selbst durch den hohen Ölpreis mitausgelöst wurde, reduzierte die Nachfrage mit entsprechender Preisreaktion (Abbildung 2). Der **geologisch-technische Aspekt** der Erdölförderung ist für den langfristigen Trend die **einzig plausible** Erklärung.



Quelle: Die Monatswerte des „US First Purchase Price“ wurde den Internetseiten des US DoE entnommen. Die Daten vor 1974 wurden durch Anpassung der Datensätze für 1974 aus BP Statistical Review of World Energy errechnet.
Die näherungsweise Umrechnung in reale Preise erfolgte durch die LBST anhand von jährlichen US-Inflationsraten aus <http://inflationdata.com>.
Die Nymex Monatsendwerte wurden
http://futures.tradingcharts.com/chart/CO/M/?savelprefs=t&xshowdata=t&xCharType=b&xhide_specs=f&xhide_analysis=f&xhide_survey=t&xhide_news=f
entnommen

Abbildung 2: Entwicklung des Erdölpreises seit 1960

Die Ölförderung folgt in jeder Region einem typischen Muster mit solange steigender Förderrate, bis das Auffinden und Erschließen neuer Felder nicht mehr den Förderrückgang alter Felder kompensieren kann – dann erreicht die Region ihr **Fördermaximum**.

Aus der Trendfortschreibung der Förderung der Regionen nach dem Fördermaximum kann man den weiteren Förderverlauf mit großer Verlässlichkeit fortschreiben und mittels einer Analyse für jeden Förderstaat die weltweite Ölförderung für die nächsten Jahrzehnte prognostizieren (Abbildung 3). Die Förderung wurde unterteilt in „Rohöl und Kondensate“ und Flüssiggase („Natural Gas Liquids“ oder kurz NGL), da man in einer Gesamtanalyse sicherstellen muss, dass der Beitrag der NGL nicht als Erdgasförderung doppelt gezählt wird. Zusätzlich wurde der Beitrag von unkonventionellem Erdöl in Venezuela und Kanada abgespalten und getrennt dargestellt. Als jeweils rote Kurve ist die Gesamtsumme für

konventionelles Rohöl inkl. Kondensat (dünne rote Kurve) und aller Flüssigölanteile (dicke rote Kurve) anhand der Statistik der US-Energiebehörde (EIA) dargestellt. Diese Kurve liegt etwa 2-3 Mio. Fass Tagesförderung über der hier durchgeführten Einzelanalyse. Diese Differenz ist auf den Anteil der Agrokraftstoffe (v.a. Ethanol) und auf „processing gains“ bei der Abtrennung und Herstellung von Flüssiggasen zurückzuführen. Die „processing gains“ sind bei genauer Analyse dem Erdgas als Verlust anzurechnen

Die weltweite Ölförderung 1900 - 2009 (Rohöl, Kondensat, NGL, Schweröl, Teersand)

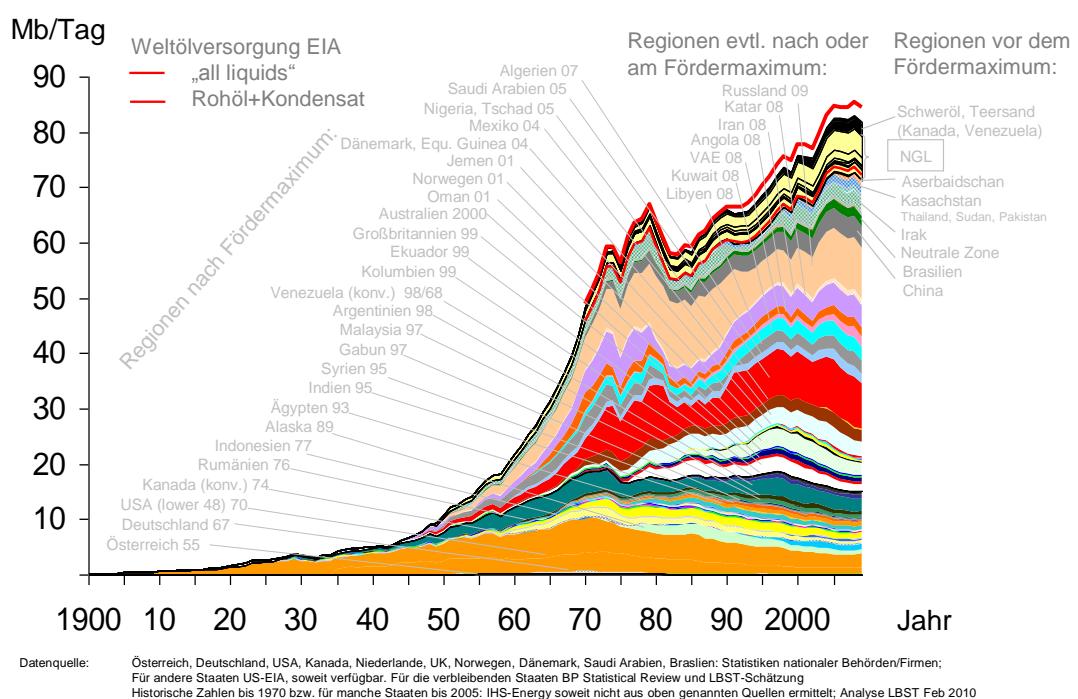


Abbildung 3: Weltweite Ölförderung 1900-2009

Von Relevanz für die künftige Entwicklung ist, **ob Saudi Arabien das Fördermaximum überschritten hat** – bisher lag es im Jahr 2005 – oder nicht. Noch vor fünf Jahren wurde dies mit Verweis auf die großen Reserven von 262 Gb heftig bestritten. Doch in den letzten Jahren wurden viele Diskussionen geführt und Analysen vorgestellt, die Presseerklärungen und Reaktionen von Aramco beobachtet. Selbst ehemals führende Vertreter von Aramco äußern sich inzwischen wie folgt: „[World oil] reserves are confused and in fact inflated. Many of the so called reserves are in fact resources. They're not delineated, they're not accessible, they're not available for production“ (Husseini 2007) und Kronprinz Abdullah verstärkte diesen Verdacht mit seiner Äußerung „The oil boom is over. All of us must get used to a different life style“ (Abdullah 2007).

Bereits 2005 äußerte der algerische Ölminister, dass die **OPEC die Kontrolle über den Ölpreis verloren** habe: „There is not much what we can do“ (Schoen 2005). Dieses

Eingeständnis erinnert sehr an die Äußerungen der RRC im Jahre 1972 nach Überschreiten des texanischen Fördermaximums.

Die Zweifel an den arabischen Ölreserven werden nicht zuletzt auch dadurch genährt, dass Saudi Aramco in jüngster Zeit seine Explorationsausgaben im schwierigen und teuren Offshore-Bereich sowohl im arabischen Golf als auch gemeinsam mit Petrobras vor der Küste Brasiliens erhöht hat. Es bleibt die Frage, warum diese Aktivitäten notwendig sind, wenn man doch über so große Ölreserven verfügt, die man angeblich nur „aufdrehen müsse“. Auch die Erschließung der bereits vor Jahrzehnten entdeckten geologisch schwierigen Ölfelder Kurais und Safaniah erfordert hohe Investitionen und verzögerte sich (Worth 2008). All diese Beobachtungen legen es nahe anzunehmen, dass Saudi Arabien am Fördermaximum ist, wenn es nicht bereits im Jahr 2005 überschritten wurde, wie es die Förder- und Exportdaten vermuten lassen. Aktuelle Veröffentlichungen in der Fachliteratur **bestätigen den Verdacht** des Förderrückgangs in Ghawar (Ariwodo et al. 2010).

Abbildung 4 zeigt das Ergebnis der Analyse der Weltölförderung. Neben der diskutierten Unsicherheit für Saudi Arabien existiert eine weitere Unsicherheit hinsichtlich der Entwicklung der Staaten vor dem Fördermaximum, insbesondere von Brasilien, Kasachstan und der unkonventionellen Ölförderung aus Teersanden (Bitumen). Für die Einschätzung dieser Staaten wurden die Entwicklungspläne der großen Felder für die kommenden 20 Jahre zugrunde gelegt. Für die Ermittlung des langfristigen Förderpotenzials wurde die kumulative Förderung an die Reserven zuzüglich einer Extrapolation noch zu machender Funde angepasst.

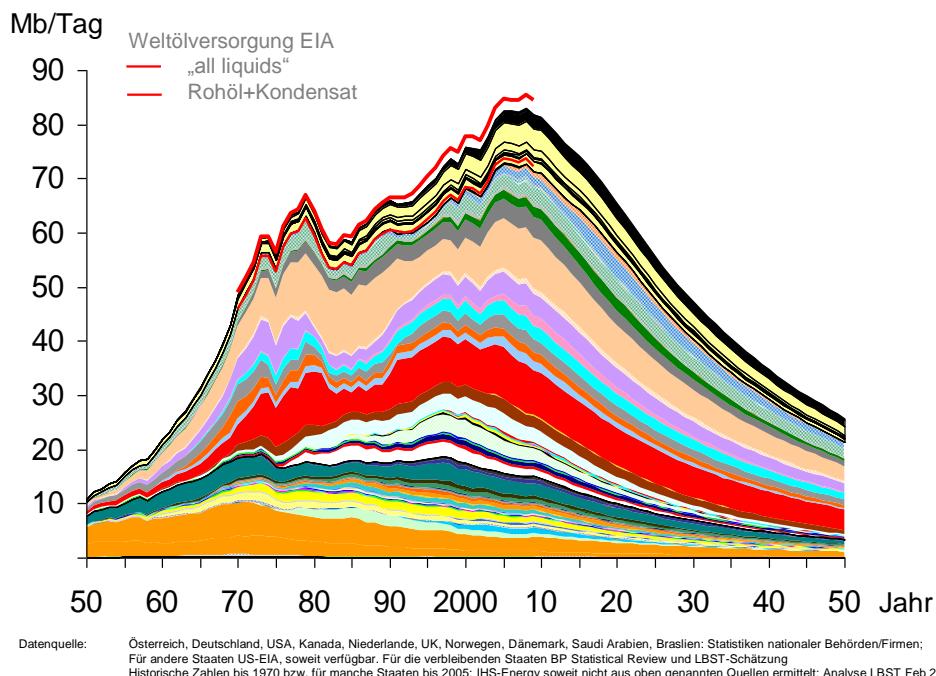


Abbildung 4: Weltweite Ölförderung 1950-2050

Darüber hinaus reduziert der **steigende Energieaufwand zur Förderung** des verbleibenden Öls die in der Nettobilanz gewinnbare Ölmenge. Dies wird dazu führen, dass die errechneten Fördermengen zu einem geringeren Anteil als berechnet für den Endverbrauch verfügbar werden, auch wenn dies mangels belastbarer Daten nicht quantifizierbar ist. Grundsätzlich steigt bei fortschreitender Förderung der energetische Aufwand zur Bereitstellung des Öls, teilweise unterbrochen durch technologische Verbesserungen. Ab dem Zeitpunkt, wo der energetische Aufwand den Energieinhalt des geförderten Erdöls übersteigt, wird die Förderung zum energetisch negativen Selbstzweck und vermutlich bald danach eingestellt werden.

Die Analyse der **Quartalsberichte der Firma Shell** zeigt diesen Trend beispielhaft anhand der steigenden Produktionskosten (Abbildung 5). Obwohl bei Shell die Ölförderung gegenüber 1998 um über 30% zurückgegangen ist, stiegen die Ausgaben für Exploration und Förderung von 6 Mrd. USD im Jahr 1998 auf etwa 20 Mrd. USD im Jahr 2009 an. Bezieht man diese Ausgaben nur auf die Ölförderung, dann entspricht dies spezifischen Ausgaben von 6-8 USD/Fass Erdöl im Jahr 1998 gegenüber 36-38 USD im Jahr 2009, ein Anstieg um den Faktor 6.

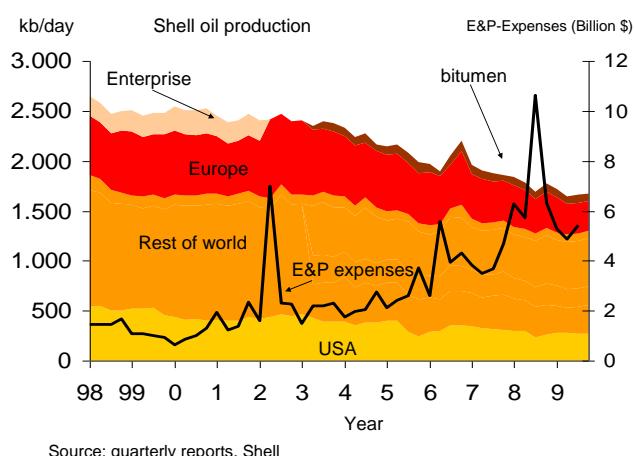


Abbildung 5: Entwicklung der Ölförderung der Firma Shell seit 1998 und steigende Ausgaben für Exploration und Förderung (E&P Expenses)

Ein zusätzlicher Aspekt der fortschreitenden Ölförderung ist, dass die Ölexportstaaten gerade bei einer Verknappung von Erdöl finanziell profitieren werden. Dies kann dazu führen, dass dort der heimische Ölkonsum noch wesentlich länger ansteigt als in den von Importen abhängigen Verbraucherstaaten. Das aber wiederum bedeutet, dass die **verfügbareren Exportmengen wesentlich schneller zurückgehen** werden als die Fördermengen. Insbesondere Staaten, die bereits über dem Fördermaximum sind, werden schnell vom Ölexporteur zum Ölimporteur mutieren.

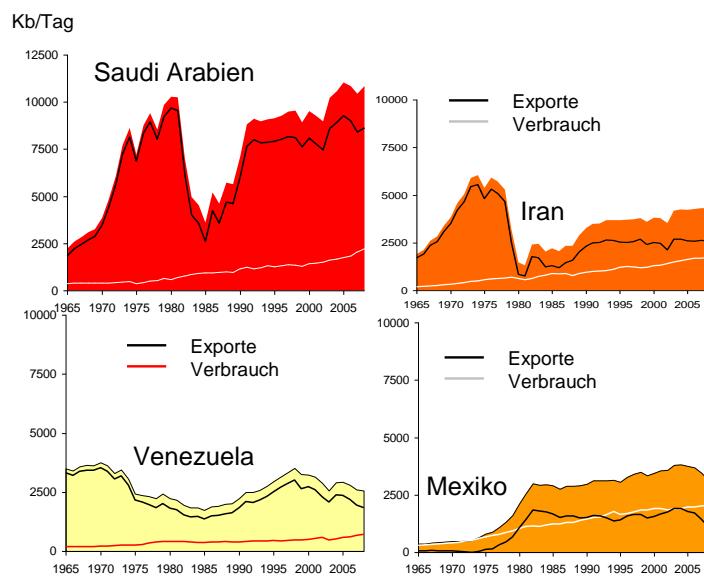


Abbildung 6: Ölförderung, Verbrauch und Export- bzw. Importmengen wichtiger Ölförderstaaten (BP 2009)

So führte das Erreichen des Fördermaximums in Großbritannien bei stagnierendem heimischen Verbrauch zu stetig sinkenden Exporten. Bereits 5 Jahre nach Erreichen des Fördermaximums wechselte Großbritannien im Jahr 2005 von einem der wichtigsten Ölexportstaaten zum Ölimporteur mit entsprechender Konsequenz für die nationale Handelsbilanz. Abbildung 6 zeigt diese Verhältnisse für einige wichtige Ölförderstaaten.

Insbesondere der in Saudi Arabien stark steigende Ölkonsum reduziert die Exportmengen. Im Jahr 2008 lag der Ölexport bereits 7% unter dem Wert von 2005. Im Iran sinken die Exportmengen trotz leicht gestiegener Fördermengen seit 2003. Besonders aber in Venezuela und Mexiko zeigt sich, wie schnell die Exportmengen nach Überschreiten des Fördermaximums zurückgehen, falls parallel der heimische Verbrauch weiter zunimmt. In Mexiko haben sich die Exportmengen gegenüber 2004 bereits um 40% reduziert.

Die zentralen Aussagen der Analyse der Erdölverfügbarkeit sind:

- (1) Das weltweite Ölfördermaximum (Peak Oil) wurde mit großer Wahrscheinlichkeit im Jahr 2008 überschritten. Ihm war seit 2005 eine Phase stagnierender Ölförderung trotz der um den Faktor 3-4 steigenden Ölpreise vorausgegangen.
- (2) Nach Überschreiten des Fördermaximums wird die weltweite Ölförderung mit ca. 3% pro Jahr zurückgehen. Dieser Förderrückgang wird die weltweit verfügbare Ölmenge im Jahr 2030 auf etwa die Hälfte der heutigen Menge reduzieren.
- (3) Im Jahr 2030 wird Mitteleuropa nur noch geringe Mengen Erdöl zu überproportional hohen Kosten importieren.
- (4) Diese Trends werden durch den sinkenden EROEI (*Energy Return on Energy Invested*) verstärkt: Es wird immer mehr Energie zur Förderung einer Energieeinheit investiert.

4.2 Erdgas

Die Abbildung 7 zeigt die **Förderung von Erdgas in Europa**. Sie hat den **Höhepunkt überschritten** und wird bis zum Jahr 2030 vermutlich auf 15-20% der heutigen Förderung zurückgehen. Möglicherweise wird ein noch kurzfristig denkbarer Förderanstieg von Norwegen erfolgen, aber es ist nicht unwahrscheinlich, dass auch dort das Fördermaximum fast erreicht wurde. Das wird vor allem davon abhängen, ob die Förderung des größten Gasfeldes Troll weiter zurückgeht oder entgegen dem Trend der vergangenen zwei Jahre wieder angehoben werden kann und ob die Förderung von Ormen-Lange nochmals ausgeweitet wird. In der Abbildung wurde unterstellt, dass die Förderung in Norwegen nochmals für einige Jahre angehoben werden kann.

Die durchgezogene Linie bis 2030 zeigt den im *World Energy Outlook* des Jahres 2008 von der Internationalen Energieagentur errechneten Erdgasbedarf Europas. In der aktualisierten Projektion von 2009 wird dieser etwas niedriger angesetzt (rote Linie), begründet mit dem Verbrauchseinbruch Europas während der Wirtschaftskrise der Jahre 2008/2009.

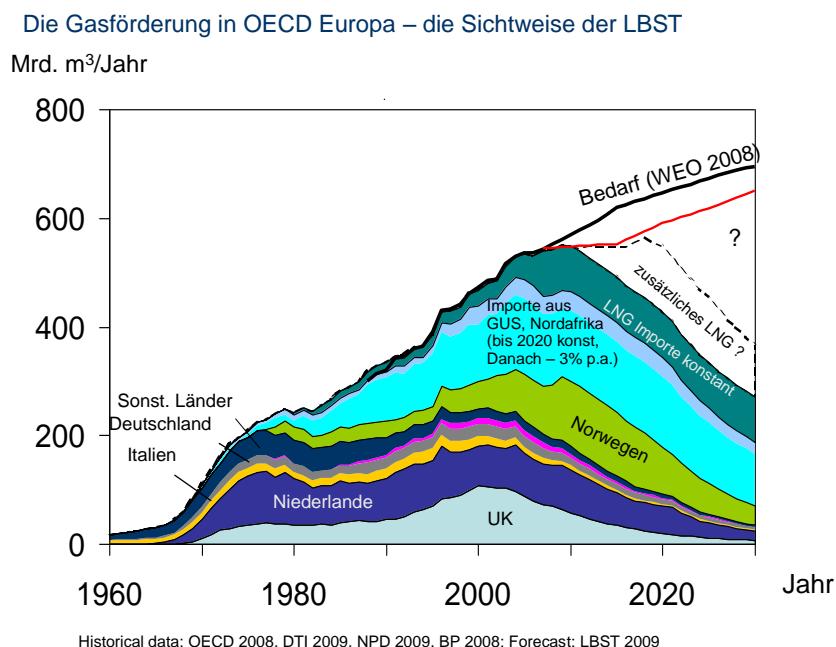


Abbildung 7: Historische Entwicklung und Projektion der künftigen Erdgasversorgung von Europa (OECD) aus Sicht der LBST und zwei Projekten der IEA (schwarz: WEO 2008, rot: WEO 2009)

Die Grafik skizziert auch die Entwicklung der Erdgasverfügbarkeit, wie sie von der LBST als wahrscheinlich eingestuft wird. Demnach **werden leitungsgebundene Importe bis 2020 nicht nennenswert zunehmen**. Die steigende Transportkapazität durch neue Pipelineprojekte wird zunächst den Förderrückgang aus bestehenden Importregionen ausgleichen müssen, so dass netto kein Zuwachs erwartet wird. Danach werden sie eher zurückgehen. Die gesamte Zunahme von Erdgasimporten wird vor allem über steigende

Flüssigerdgasimporte gehen. Hier lautet die Vermutung, dass bis 2020 vielleicht noch eine Verdoppelung der LNG-Importe (*Liquified Natural Gas*, Flüssiggas) möglich ist und diese danach noch für etwa 10 Jahre auf konstantem Niveau gehalten werden können. Allerdings ist das Importszenario eher aus der abgeschätzten Verfügbarkeit von Erdgas für den Export aus den betreffenden Staaten abgeleitet. Eine konsistente Szenariorechnung erfordert die Berücksichtigung regionaler und sektoraler Abhängigkeiten und Preise. Abbildung 7 dient daher eher als Plausibilitätsbetrachtung für die zukünftige Verfügbarkeit von Erdgas in Europa.

Dass die Situation der Erdgasverfügbarkeit in Europa Ende 2010 relativ entspannt ist, hat vor allem zwei Ursachen: (1) Der **Einbruch der Wirtschaftsentwicklung** hat den **Bedarf reduziert**. (2) In den **USA** führten sowohl der Rückgang des Bedarfs als auch die kurzfristige Ausweitung der Förderung durch konventionelle und nichtkonventionelle Gasförderung (so genanntes Shale-Gas, das 2009 mit 10% zur Förderung beitrug) dazu, dass dort der **Bedarf an LNG-Importen zurückging**. Da ein Teil dieser Importe aus Norwegen erfolgte, stehen diese Mengen nun anderweitig zur Verfügung.

Es liegt die Vermutung nahe, dass sich dies wieder ändern wird, sobald der Gasverbrauch sowohl in den USA als auch in Europa wieder steigen wird. Zudem dürfte die Ausweitung der Shale-Gasförderung in den USA bald an ein Ende kommen. Der zunehmende Konflikt mit Anwohnern einerseits und die Aggregierung der einzelnen Förderprofile mit starkem Förderrückgang – teilweise bis zu 70% im ersten Jahr – werden hierfür Ursache sein.

Für die europäische Gasversorgung wird **Russland eine Schlüsselposition** einnehmen. Heute muss allerdings erwartet werden, dass die Exporte von dort nicht mehr gesteigert werden, sondern abgesehen von kurzfristigen Ausweitungen, wenn große neue Felder erschlossen werden, zurückgehen wird, da die Konkurrenz mit anderen Nutzern (Inland, Asien) zunimmt. In Europa wird die Shale Gas-Förderung eine weitaus geringere Bedeutung als in den USA erlangen.

Die zentralen Aussagen der Analyse der **Erdgasverfügbarkeit** sind:

- (1) Die Erdgasförderung in Europa hat den Höhepunkt überschritten. Sie wird bis zum Jahr 2030 vermutlich auf 15-20% der heutigen Förderung zurückgehen.
- (2) Importe aus Russland werden abnehmen.

4.3 Fossile Kohle

Die Ressourcensituation von Kohle liegt in der Regel nicht im Fokus der Aufmerksamkeit. Hier werden in der Regel vor allem die Umweltauswirkungen, insbesondere die hohen CO₂-Emissionen als Grund für eine Substitution angeführt. Doch bei näherer Analyse ist dem keineswegs so. **Scheinbar große Kohlereserven reduzieren sich sehr schnell**, wenn man

die zeitliche Entwicklung und **dynamische Förderprofile** berücksichtigt. Auch die in der Öffentlichkeit vorherrschende Meinung, dass bei steigenden Kohlepreisen stetig Kohleressourcen in Kohlereserven überführt würden, findet keine empirische Bestätigung. Tatsächlich ist Kohle der einzige der drei fossilen Energieträger, dessen Reserven über die letzten 20 Jahre wesentlich stärker zurückgegangen sind, als es durch die Förderentnahme über diesen Zeitraum erklärbar wäre.

Abbildung 8 zeigt ein Förderszenario für Hartkohle (Steinkohle und Hartbraunkohle) bis 2100. Dieses wurde unter Berücksichtigung länderspezifischer Informationen über Reservenentwicklung und – soweit verfügbar – weiterer förderrelevanter Informationen erstellt. Es wird deutlich, dass die **Kohleförderung in China** auch die weltweite Kohleförderung **dominiert**. Ist dort das Fördermaximum erreicht und setzt ein Förderrückgang ein, gleicht eine Förderausweitung in anderen Regionen dies nicht aus.

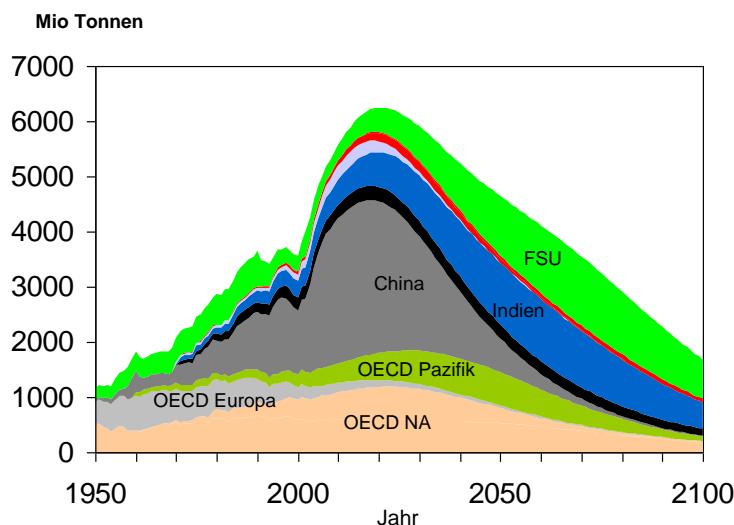
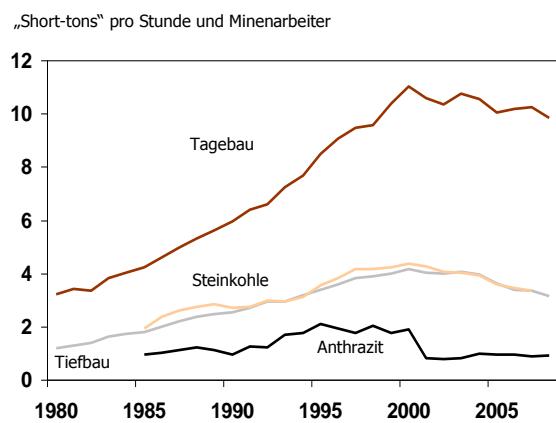


Abbildung 8: Szenario der weltweiten Kohleförderung

Auch bei fossiler Kohle zeichnet sich ein **Rückgang des EROEI** ab. Dies äußert sich u.a. in sinkender Arbeitsproduktivität in der Kohleförderung (Abbildung 9 für das Beispiel der USA).

Beispiel: Abnahme der Produktivität in den USA seit 2000



Quelle: US-EIA, Nov 2009

Abbildung 9: Produktivität im Kohlebergbau der USA

Nur etwa 10% der weltweit geförderten Kohle wird auf dem Weltmarkt gehandelt. Insbesondere Staaten mit großem Kohleverbrauch und Reserven (China, Indien) sind zunehmend auf Kohleimporte angewiesen. China ist innerhalb von 10 Jahren vom zweitgrößten Kohleexportland zu dem nach Japan größten Importeur mutiert. Dieser Zuwachs wurde in der Vergangenheit vor allem durch die Förderausweitung in Indonesien bereitgestellt. Heute ist absehbar, dass die indonesischen Kohleexporte bald zurückgehen werden. Daher sind Verknappungen zu erwarten, wenn es nicht zeitnah gelingt, die Exportkapazität (Förderung, Eisenbahn, Hafenanlagen) von Australien, Südafrika, Russland und Kolumbien deutlich auszubauen.

Die zentralen Aussagen der Analyse der **Kohleverfügbarkeit** sind:

- (1) China dominiert die weltweite Förderung. Wenn sie dort das Maximum überschreitet, wird der Abfall nach dem Peak nicht ausgeglichen werden können.
- (2) Der Peak Supply ist zwischen 2020 und 2030 zu erwarten. Wie bei Erdöl ist ein Abfall des EROEI sichtbar.
- (3) Für die Verfügbarkeit in Europa wird der Weltmarkt entscheidend sein. Hier muss bereits wesentlich früher mit einer angespannten Versorgungssituation gerechnet werden.

4.4 Mineralische Rohstoffe für die Düngemittelproduktion

Die ausreichende Bereitstellung von Düngemitteln ist ein wesentlicher Faktor für Erfolg und Misserfolg einer Steigerung der landwirtschaftlichen Produktion. Nicht nur die direkte Energieverfügbarkeit, auch die Verfügbarkeit der Grundstoffe ist für die Landwirtschaft entscheidend. Die für die **Düngemittelherstellung benötigten Rohstoffe** sind vor allem:

- Stickstoffdünger: Dieser benötigt Stickstoff als Grundsubstanz.
- Phosphatdünger: Grundstoffe sind vor allem Schwefel und diverse Phosphatgesteine
- Kalidünger: Dieser wird vor allem aus Kalisalzen (Potasche) gewonnen.

Grundstoff für Stickstoffdünger sind fossile Energieträger (Öl, Gas) mit ihren klar definierten Eigenschaften. Kalisalze variieren regional in ihrer Zusammensetzung. Das Endprodukt des bergmännischen Abbaus, der Konzentration und Aufbereitung hat jedoch relativ konstante Zusammensetzung mit wohl definierten Eigenschaften. Phosphate und Kohle können jedoch extrem in ihrer Zusammensetzung variieren. Die Zusammensetzung der Ausgangsstoffe beeinflusst die Prozesse, die angewandt werden können, um das abgebaute Erz zu hochwertigem Dünger zu verarbeiten: Veränderungen in der Erzzusammensetzung beeinflussen den Wirkungsgrad der Düngemittelherstellung. Damit ist die Düngemittelherstellung direkt und indirekt von ausreichend **verfügbarer Energie** und der **Qualität der natürlichen Ressourcen abhängig**, da der energetische und technische Aufwand mit schlechter werdender Erzqualität steigt.

Daher ist die **Phosphorabhängigkeit besonders kritisch**. Die weiteren Stoffe Kalium, Stickstoff und Schwefel sind bezüglich ihrer Eigenschaften und Verfügbarkeit eher unkritisch. Allerdings dürfen deren negative Aspekte insbesondere beim Abbau von Kalisalzen nicht vernachlässigt werden. Abbildung 10 zeigt die durch Aufsummation der Förderprofile der einzelnen Staaten gewonnene Projektion für die weltweite Förderung von Phosphatgesteinen. Vermutlich wird zwischen **2020 und 2030 das weltweite Fördermaximum** von Phosphatgestein erreicht werden. Danach wird die Förderung vermutlich deutlich zurückgehen. Um das Jahr 2050 werden vermutlich nur noch Marokko und China über bedeutende Phosphatreserven verfügen. Deren Produktion wird mit etwa 90% Anteil die weltweite Phosphatförderung dominieren.

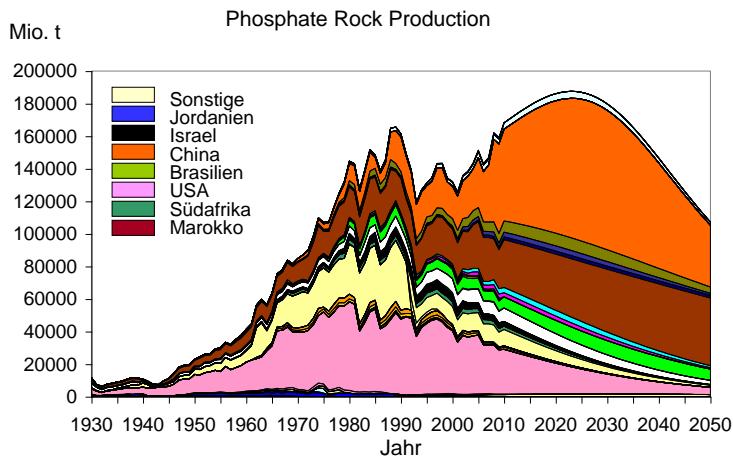
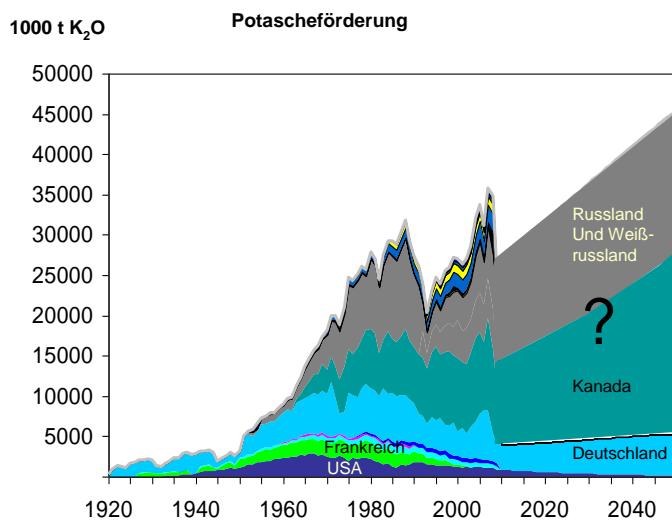


Abbildung 10: Szenario der weltweite Phosphatförderung bis 2050

Abbildung 11 zeigt eine Projektion der weltweiten Förderung von **Pottasche** bis zum Jahr 2050 auf Basis der berichteten Weltweiten und nationalen Reservesituation. Es muss erwartet werden, dass in diesem Jahrhundert **kein Versorgungsengpass** aufgrund schwindender Reserven erfolgen wird.



Quelle: USGS 2010, eig. Berechnung

Abbildung 11: Weltweite Förderung von Pottasche (Kalisalzen) (USGS 2010)

Die zentralen Aussagen der Analyse der **Phosphor- und Kaliumverfügbarkeit** sind:

- (1) Zwischen 2020 und 2030 ist für Phosphor der Peak zu erwarten.
- (2) Für Kalium zeichnet sich in diesem Jahrhundert **kein Versorgungsengpass** aufgrund der geologischen Verhältnisse ab.

4.5 Biomasse

Abbildung 12 zeigt einen Überblick über die Ergebnisse von Biomasse-Potenzialstudien für Europa im Vergleich zur Biomassenutzung im Jahr 2007. Dabei ist zu beachten, dass sich die Studien hinsichtlich des geographischen Bezugs unterscheiden und unterschiedliche Potenzialdefinitionen (technische, umweltverträgliche und wirtschaftliche Potenziale) zugrunde gelegt sind. Allerdings erklären diese Unterschiede nicht die zum Teil sehr großen Diskrepanzen. So sind beispielsweise die umweltverträglichen Potenziale für die EU-25-Staaten laut EEA (2006) deutlich höher als die technischen Potenziale für die EU-27 laut Ganko et al. (2004) bzw. für die EU-25 plus Weißrussland und Ukraine laut Ericsson et Nilsson (2006). Diese Unstimmigkeiten deuten darauf hin, dass die Ergebnisse von Potenzialabschätzungen stark von methodischen Ansätzen und Annahmen abhängen und mit beträchtlichen Unsicherheiten behaftet sind.

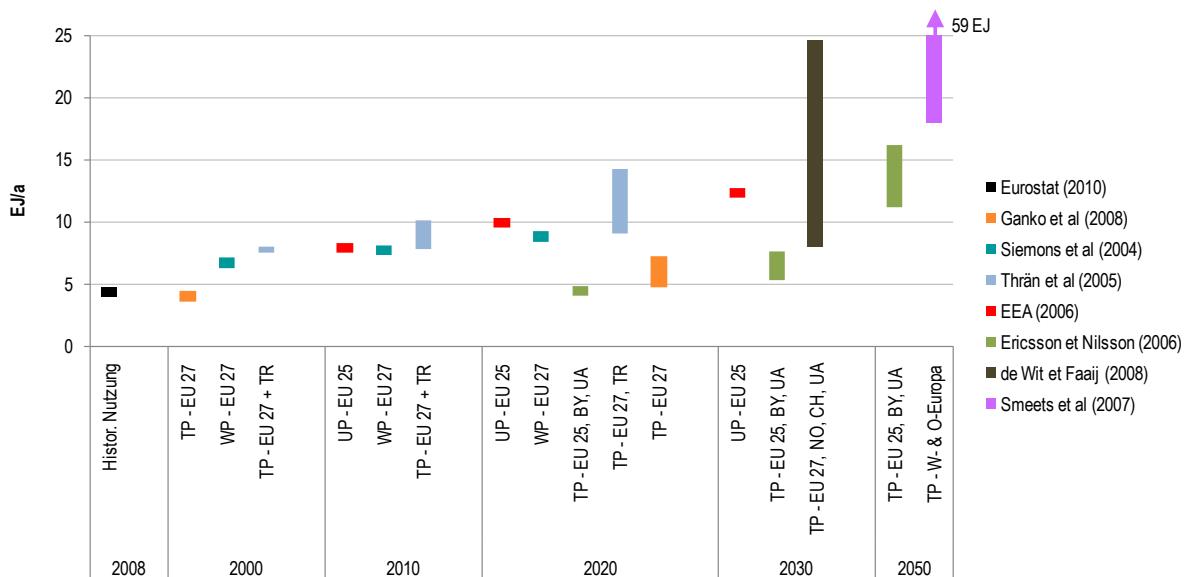


Abbildung 12: Biomassepotenziale in Europa im Vergleich zur Biomassenutzung im Jahr 2008 (Zusammenstellung der Potenzialstudien nach Rettenmaier et al. 2009). Abkürzungen: TP: Technisches Potenzial, WP: Wirtschaftliches Potenzial, UP: Umweltverträgliches Potenzial, TR: Türkei, BY: Weißrussland, UA: Ukraine, NO: Norwegen, CH: Schweiz, W- & O-Europa: West- und Osteuropa)

Hinsichtlich der mitteleuropäischen Länder, die für Österreich in erster Linie als Biomasselieferanten in Frage kommen, bestehen diversen Studien zufolge große ungenutzte Potenziale insbesondere in Polen, Ungarn und der Slowakei, da von der Möglichkeit einer deutlichen Ausweitung des Energiepflanzenanbaus ausgegangen wird. Eine Gegenüberstellung mit Szenarien der energetischen Biomassenutzung nach Resch et al. (2008) zeigt, dass zur Erreichung der „2020-Ziele“ (EC 2009) der EU jedoch eine weitgehende Ausschöpfung der mitteleuropäischen Biomassepotenziale erforderlich ist. Lediglich in Polen bleibt ein wesentlicher Anteil, nämlich etwa 50% des Potenzials, ungenutzt (ca. 500 bis 700 PJ/a), was darauf hindeutet, dass signifikante Mengen exportiert werden könnten. Darüber hinaus wird insbesondere der Ukraine ein hohes Potenzial zur Produktion

von Energiepflanzen für die europäischen Biomassemärkte zugeschrieben. De Wit et Faaij (2010) weisen für 2030 im Basisszenario ein Potenzial in der Höhe von etwa 4,8 EJ/a aus, was etwa 30% des Energiepflanzenpotenzials der EU (laut de Wit et Faaij 2010) entspricht.

Die Gegenüberstellung von Literaturangaben zu globalen Biomassepotenzialen in Abbildung 13 verdeutlicht, dass globale Potenzialabschätzungen mit noch größeren Unsicherheiten behaftet sind als solche für Europa. Konkrete Aussagen, in welchem Ausmaß die globale energetische Biomassenutzung mittel- bis langfristig gesteigert werden kann, sind auf Basis dieser Daten nicht möglich. Andererseits zeigen die Ergebnisse der zugrundeliegenden Studien auf, von welchen Faktoren die mögliche zukünftige Bedeutung von Bioenergie maßgeblich abhängt.

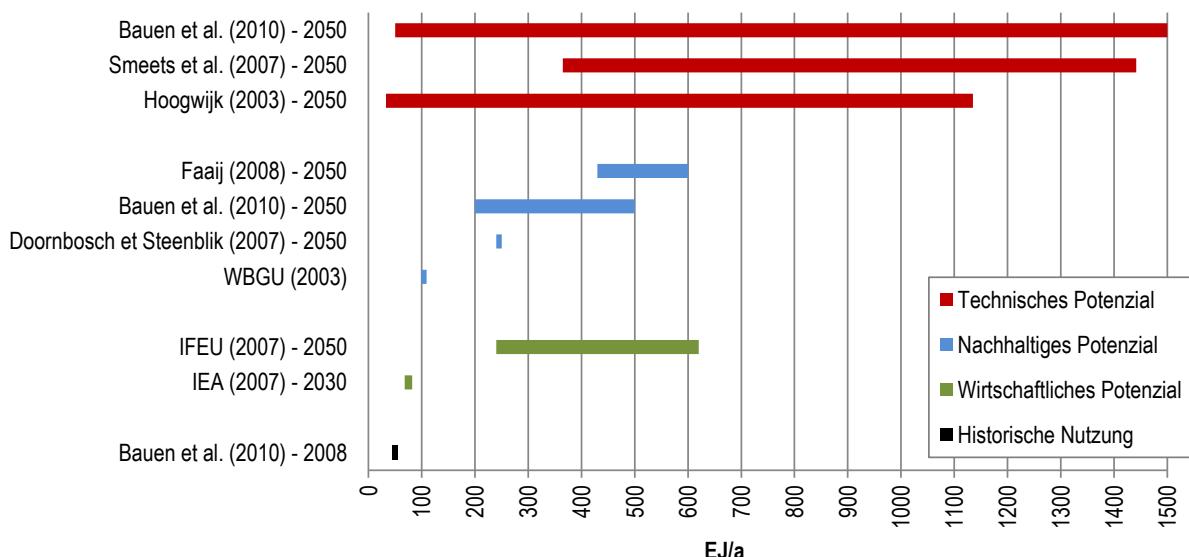


Abbildung 13: Globale Biomassepotenziale im Vergleich zur Biomassenutzung im Jahr 2008 (basierend auf Zusammenstellungen nach WBGU 2009 und Dornburg et al. 2008).

Hinsichtlich der Potenzialfraktionen zeigt sich folgendes Bild: Die Bandbreite des Reststoffpotenzials (inklusive Waldrestholz) reicht in den in Abbildung 13 dargestellten Studien (mit Ausnahme von IEA 2007) von 25 bis 170 EJ/a. Beim Potenzial von derzeit ungenutztem Waldzuwachs reicht die Bandbreite der Schätzungen von 0 bis 100 EJ/a. Nutzungskonkurrenzen sind bei diesen Abschätzungen zum Teil nicht berücksichtigt, ebenso wie Wirtschaftlichkeitsschätzungen bei den Abschätzungen des technischen und nachhaltigen Potenzials. Die weitaus größte Unsicherheit zeigt sich beim Potenzial von Energiepflanzen. Diese Unsicherheit geht in erster Linie auf den ungewissen Flächenbedarf für die Ernährung der zukünftigen Weltbevölkerung zurück, der von den Faktoren Bevölkerungswachstum, Ernährungsgewohnheiten, technologischen Fortschritt und Grad der Intensivierung der Agrarproduktion maßgeblich beeinflusst wird (WBGU 2009). So basieren die Obergrenzen der technischen Potenziale in Abbildung 13 auf Szenarien, in denen die zur Nahrungsmittelproduktion erforderliche Ackerfläche deutlich zurückgeht und damit Ackerflächen in hohem Maße für den Anbau von Energiepflanzen verfügbar werden. Unter

der Annahme, dass Energiepflanzen nur auf „marginalen Flächen“ ausgeweitet werden, reduziert sich das Potenzial für eine nicht bewässerte und nicht stark intensivierte Anbauweise auf „sehr unsichere“ 30 bis 200 EJ/a (WBGU 2009) (siehe dazu auch Kapitel 6).

Die zentralen Aussagen der Analyse der **Biomassepotenziale** sind:

- (1) Für Europa wird infolge der „2020-Ziele“ mit einer weitgehenden Ausschöpfung der energetischen Biomassepotenziale gerechnet.
- (2) Längerfristige, für Österreich potenziell relevante Exportpotenziale werden in erster Linie in der Ukraine und Polen gesehen.
- (3) Analysen der globalen energetisch nutzbaren Biomassepotenziale zeigen ein sehr heterogenes Bild. Grund dafür sind in erster Linie die sehr großen Unsicherheiten bezüglich langfristiger Bevölkerungsentwicklungen, Ernährungsgewohnheiten und Fortschritte in der landwirtschaftlichen Produktivität.

5 Volkswirtschaftliche Folgen von Peak Oil

Das nicht nur in Österreich allgegenwärtige kapitalistische Entwicklungsmodell mit seinem eingebauten Wachstumszwang beruht energetisch wesentlich auf der Nutzung fossiler Energieträger, allen voran auf der Verfügbarkeit von Erdöl. Dieses Modell gelangt in den kommenden Jahrzehnten an seine Grenzen. Es ist nicht mehr die Frage, ob, sondern nur noch eine Frage, wann uns das billige Öl ausgeht, und ab **wann Versorgungsgpässe** auftreten werden. Während die globale Erdölförderung ihren Gipfel erreicht oder bereits überschritten hat, wächst der Bedarf an Erdöl weltweit, vor allem in wachstumsstarken Ländern wie China und Indien. Dabei wird die längerfristige Aufwärtsbewegung der Preise, die sich aus zunehmender Knappheit ergeben würde, durch krisenbedingte kurzfristige Nachfrageschwankungen moduliert, die durch Spekulation an den Rohölbörsen verstärkt werden. Sie stieg der Rohölpreisindex an der New Yorker Börse von 50 USD/Fass im Jänner 2007 auf über 140 USD/Fass im Mai 2008, um im Dezember 2008 wieder auf 40 USD zu fallen. Es ist interessant, dass die Benzinpreise für die Endverbraucher diese Berg- und Talfahrt der Preise nur in einem wesentlich geringeren Ausmaß mitmachten. Verantwortlich dafür ist das sonst vielgeschmähte *hedging*, durch das sich die Rohölkäufer gegen steigende Preise absichern.

Um qualitativ einschätzen zu können, wie sich Preisänderungen bei Rohöl und physische Ölverknappungen auf die Wirtschaft auswirken könnten, wurde ein mathematisches Simulationsmodell entwickelt, das zentrale Eigenschaften einer kapitalistischen Ökonomie abbilden kann. Dabei handelt es sich um ein so genanntes **Input-Output Modell**, das die Verflechtungen der Geld- und Güterströme einer Volkswirtschaft zwischen unterschiedlichen Wirtschaftszweigen und mit dem Ausland beschreibt. Wie in Wirklichkeit werden im Modell die Brutto-Investitionen bestimmt, die zur Erweiterung des Kapitalbestands (Bauten und Ausrüstungen) dienen und die gemeinsam mit den nötigen Vorleistungen und den Beschäftigten die Produktion in der folgenden Periode ermöglichen. Durch diesen Mechanismus kann das Verhalten einer Volkswirtschaft im Zeitverlauf – also **dynamisch** – abgeschätzt werden (im Unterschied zu einem statischen Modell, das nur für einen einzigen Zeitpunkt gilt). Zum gegenwärtigen Zeitpunkt sind noch keine empirischen Daten der österreichischen Volkswirtschaft in das Simulationsmodell eingeflossen, sondern nur so genannte *stylized facts*, die im Allgemeinen eine kapitalistische Wirtschaft charakterisieren.

In **Szenarien** werden unterschiedliche Rahmenbedingungen der modellierten Wirtschaft mit sechs Sektoren im Vergleich zu einer ungestörten Entwicklung (Standardvariante, Abbildung 14) angenommen und die Effekte in graphischer Form dargestellt. Die Simulationen beginnen hypothetisch im Jahr 0. Im Standardlauf bleiben die Preise konstant. Alle Sektoren wachsen langsam und etwa gleich schnell mit fallenden Wachstumsraten.

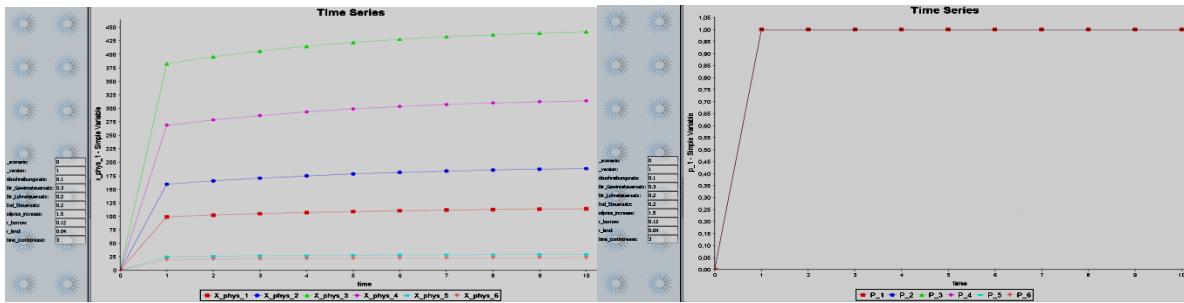


Abbildung 14: Outputindizes (links) und Preisentwicklung (rechts) der Standardvariante für 6 Sektoren einer dynamischen Simualtion

Abbildung 15 zeigt die Ergebnisse des Simulationsmodells für einen Kostensprung bei der Ölförderung (Sektor 1) um 50%, der im Jahr 3 stattfindet. Die Kostenerhöhung von 50% führt zu einer Erhöhung des Erdölpreises um ca. 20%. Da Erdöl in allen Branchen verwendet wird, erhöhen sich auch in den anderen Wirtschaftszweigen die Preise, allerdings in abgeschwächter Form. Da im Standardlauf konstante Preisindizes von 1 angenommen wurden, bleibt das im Jahr 3 angenommene Preisniveau über die weiteren Perioden unverändert. Der Output der einzelnen Branchen geht vor allem im Sektor 1 zurück. Da im Modell teilweise Substitution des Erdöls durch Kapital und Arbeit angenommen wurde, wirkt sich die Preiserhöhung auf den Output der anderen Branchen dämpfend aus.

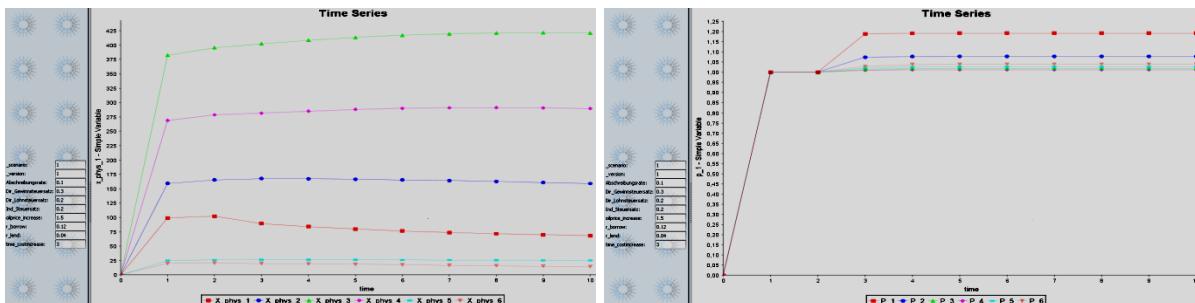


Abbildung 15: Outputindizes (links) und Preisindizes (rechts) als Antwort auf einen einmaligen Kostensprung im Extraktionssektor 1 um 50% im Jahr 3

Ein weiteres Szenario (Abbildung 16) nimmt an, dass die Förderung von Rohöl im Jahr 2008 ihren Höhepunkt erreicht hat. Ab diesem Jahr sollen die geringer werdenden verfügbaren Ölmengen (siehe Abbildung 4) in der Simulation direkt den Output der einzelnen Wirtschaftszweige beschränken. Da die verwendeten Produktionsfunktionen die Möglichkeit zum teilweisen Ersatz (Substitution) der Produktionsfaktoren (Realkapital, Arbeit, Energie und andere Roh- oder Hilfsstoffe) besitzen, ist der Niedergang der Wirtschaft weniger stark ausgeprägt als die Beschränkungen bei der Erdölförderung erwarten liessen. Konkret könnte etwa der Mangel an Benzin durch den Einsatz von Elektromotoren, die aus erneuerbaren Energien betrieben werden, teilweise oder zur Gänze kompensiert werden. Diese Kompensation ist aber nur durch einen Umbau der auf fossilen Brennstoffen beruhenden Produktionsstruktur zu erreichen.

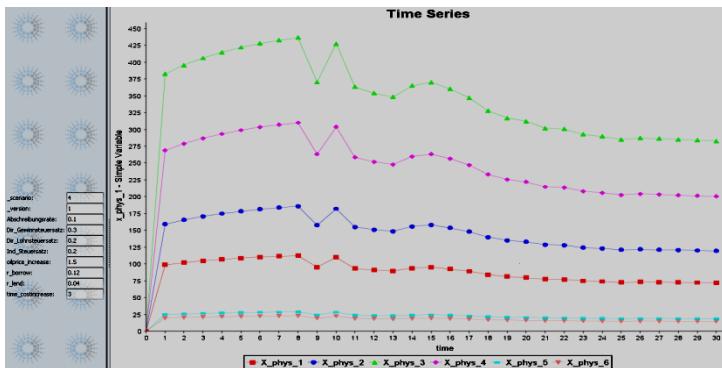


Abbildung 16: Output zu laufenden Preisen nach Peak Oil im Jahr 8

Die zentrale Aussage der Analyse der **volkswirtschaftlichen Effekte von Peak Oil** ist:
Eine physische Verknappung von Erdöl führt im Vergleich mit der Standardvariante zu einer Verringerung des wirtschaftlichen Outputs (gemessen am Brutto-Produktionswert)

Die oben angegebenen Simulationen beschreiben potentielle Veränderungen in der Wirtschaft auf abstraktem Niveau und nur für zwei Arten von Indikatoren, für Preis- und Mengenentwicklungen auf der Ebene von Wirtschaftssektoren. Damit sind die Möglichkeiten von Simulationen aber längst nicht ausgeschöpft. Beschäftigungseffekte können mit diesem Instrument ebenso genauer analysiert werden wie die Auswirkungen von Umstellungen des Steuersystems oder die Effekte von Zinsänderungen bzw. Kreditbeschränkungen.

Um volkswirtschaftliche Effekte konkreter einschätzen zu können, muss auch die Nachfrageseite nach Erdöl und Produkten der Erdölverarbeitung einer Analyse unterzogen werden. Die Nachfrage wird aber mittelfristig von politischen Entscheidungen (z.B. vom Grad der Wärmedämmung von Häusern und Wohnungen oder von erfolgten Umstellungen der Produktion auf erneuerbare Energien) und vom Lebensstil (z.B. Umstieg vom PKW auf den öffentlichen Verkehr oder auf das Fahrrad, weitgehender Verzicht auf Flugreisen, Umstellung auf vorwiegend vegetarische Ernährung usw.) abhängen.

Zukünftige Effekte auf das Alltagsleben lassen sich illustrieren, wenn wir uns die Benzinkrise im Jahr 2000 in Erinnerung rufen (<http://www.peakoil.de/>). Damals blieben die Spritlieferungen zwar nur für zweieinhalb Wochen aus, doch waren die Effekte gravierend: Lange Schlangen an den Tankstellen, tageweise durften nur Polizei, Feuerwehr und Krankenwagen tanken; Panikkäufe in den Läden, manchen gingen das Brot und die Milch aus; Postsammlung und Verteilung an Sonntagen wurden ausgesetzt, um Treibstoff zu sparen; Nutztiere drohte der Hungertod, weil ihr Futter nicht geliefert werden konnte, Schulen mussten geschlossen werden, weil die Schüler und Lehrer keine Transportmöglichkeit hatten; Krankenhäuser beschränkten ihre Arbeit auf Notfälle, Operationen wurden abgesagt und Patienten nach Hause geschickt; Firmen blieben geschlossen, weil die Mitarbeiter nicht zur Arbeit kommen konnten; Ambulanzen konnten nur noch für Notfälle ausrücken.

6 Globale Folgen zunehmender Biomassenutzung

6.1 Ausgangslage

Das Energiemodell westlicher Industriestaaten muss langfristig an die seit Peak Oil und Klimakrise veränderten Bedingungen angepasst werden. Dabei spielt der Rückgriff auf erneuerbare Energieträger, und hier insbesondere auf Biomasse, auch für die Länder des OECD-Raums eine stets wichtigere Rolle (Abbildung 17).

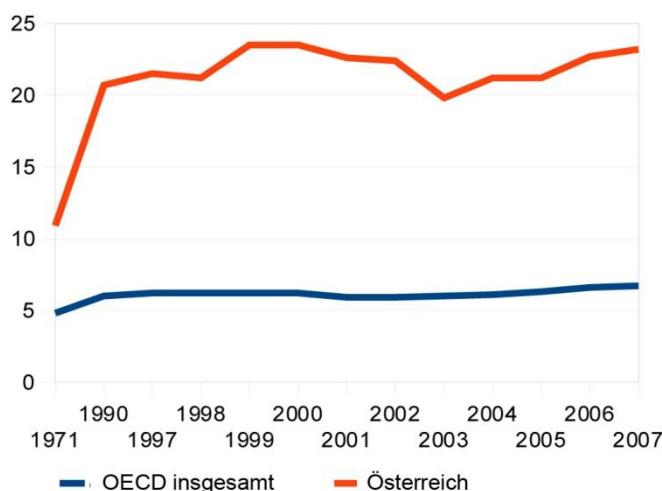


Abbildung 17: Prozentanteil der erneuerbaren Energieträger am gesamten Energieaufkommen in Österreich und der OECD (1971-2007). Quelle: OECD (2009, 125).

Die Bedeutung der Biomasse wächst, wenn infolge der Teuerung des Erdöls die Energiesysteme industrialisierter Staaten umgestaltet werden. Denn die **Biomasse** bietet Lösungsmöglichkeiten für die Probleme der Energieversorgung im **Transportwesen**, wenn fossile Energieträger knapp werden: Während Sonne, Wind, Wasser und Erdwärme als Energiequellen in erster Linie für die Stromerzeugung genutzt werden können, eignet sich Biomasse besonders gut für die Treibstoffproduktion. Auf den Transportsektor wiederum entfallen gegenwärtig etwa **50% des gesamten globalen Ölverbrauchs** und auf ihn wird auch zukünftig der **Löwenanteil des Nachfrageanstiegs** nach fossilen Energieträgern entfallen. So schätzt die IEA, dass 97% der weltweiten Zunahme des Ölverbrauchs zwischen 2007 und 2030 aus den Bedarfssteigerungen im Transportsektor resultieren werden (IEA 2009, 82).

Zwar ist der Einsatz von **Biomasse im Verkehr** mit **2,2% der globalen Bioenergienutzung** gegenwärtig noch gering und werden biogene Stoffe hauptsächlich für die Wärme- und Stromerzeugung verwendet: So entfallen auf traditionelle Formen der Wärmeerzeugung in Entwicklungsländern 85,6% des weltweiten Bioenergieverbrauchs, auf die in modernen Anlagen produzierte Biowärme 7,8% und den Biostrom 4,5% (WBGU 2009, 37). Die

Biotreibstoffproduktion hat sich aber in den letzten Jahren **rasant entwickelt** und wird in den nächsten Jahrzehnten eine immer bedeutendere Rolle spielen.

Zugleich werden die **Konflikte der Nutzung** der Biomasse zwischen den Sektoren (1) Luftverkehr, (2) Straßenverkehr, insbesondere Langstreckentransporte und (3) chemischer Industrie (Biomasse als Rohstoffbasis) zunehmen.

Gegenwärtig hat Biomasse mehr als 10% Anteil am Welt-Primärenergieverbrauch, jedoch im Wesentlichen durch nichtnachhaltige traditionelle Nutzung. Die künftigen Potenziale liegen daher vor allem in einer **energetisch effizienteren Nutzung**. Damit könnte primärenergetisch kaum, endenergetisch aber wesentlich mehr Energie bereitgestellt werden. Die traditionelle Nutzung erfolgt mit Wirkungsgraden von teilweise nur 10-20%. Man kann jedoch einfache Öfen mit 70% Wirkungsgrad bauen (Bsp. Kuba).

6.2 Landwirtschaft als „Krisenbrennpunkt“

Die **Krise auf den Märkten für fossile Energie**, insbesondere die enorme Teuerung des Rohöls von 2007/08, hat auch die Nachfrage nach erneuerbaren Energien, und hier vor allem nach **Biotreibstoffen**, ansteigen lassen, mit entsprechenden Wirkungen auf die Preisbildung für Biomasse und Ackerland. Da jedoch Biotreibstoffe (gerade bei ab Mitte 2008 wieder sinkenden fossilen Energiepreisen) auf dem Markt kaum konkurrenzfähig sind, spielen für den Ausbau des Sektors **staatliche Fördermaßnahmen eine wichtige Rolle**. Eine Ausnahme bildet lediglich Ethanol in Brasilien.

Doch im Gegensatz zur Treibstoffgewinnung aus fossilen Ressourcen ist diejenige aus Biomasse flächenabhängig und **flächenextensiv**. Mit der verstärkten Nutzung von biogenen Kraftstoffen verändert sich deshalb die gesamte räumliche Dimension des Energiemodells und sie impliziert, wie im Schaubild dargestellt, **weit reichende Veränderungen in Landeigentum bzw. Landbesitz und Nutzungsweisen** von Land. Davon werden vor allem **Entwicklungs- und Schwellenländer** betroffen sein, die den Treibstoff bzw. die Grundstoffe zu dessen Destillation liefern sollen. Die globale Treibstoffproduktion frisst sich nun in ihre Territorien hinein, verändert die landwirtschaftlichen Räume und die Lebensbedingungen der ruralen Gesellschaften. Denn nicht nur führt der von globalen ökonomischen und politischen Prozessen ausgelöste Biosprit-Boom an den Produktionsorten zu **Konflikten** über knappe Ressourcen wie Land und Wasser. Mit dem Einstieg großer Investoren, die verstärkt in Agrarflächen und landwirtschaftliche Produktion investieren, modifizieren sich auch Anbaumethoden und Eigentumsverhältnisse. Vor allem in peripheren Staaten entstehen in deren Folge **neue Abhängigkeiten der Kleinbauern**.

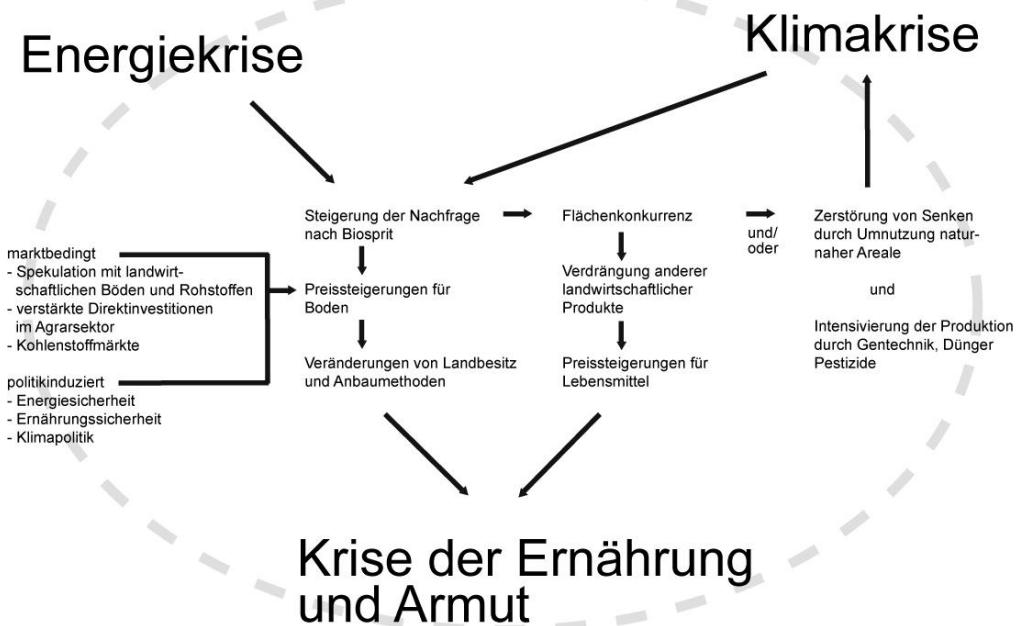


Abbildung 18: Die Landwirtschaft zwischen Energie-, Klima- und Ernährungskrise

Die negativen sozialen Auswirkungen des neuen Energiemodells lassen sich jedoch nicht auf den ländlichen Raum beschränken. Denn die steigende Nachfrage nach Biosprit trägt indirekt, also über die Preisbildungsprozesse auf den globalen Märkten für Agrarrohstoffe, auch dazu bei, die **Armen in Stadt und Land eher ärmer zu machen** und weitere Menschen in Armut zu stürzen, als den „Wohlstand der Nationen“ zu erhöhen. Vor diesem Hintergrund sind es nicht allein transnationale Konzerne und institutionelle Investoren, die für die Steigerung der Erträge auf landwirtschaftliche Intensivproduktion setzen. Auch seitens der Politik, die das Problem der Energie- und Ernährungssicherheit gleichzeitig lösen will, wird in vielen Ländern auf den verstärkten Einsatz von **Gentechnik, Düngern und Pestiziden** gedrängt. Bezieht man zudem ein, dass durch die von der Treibstoffproduktion verursachte Flächenkonkurrenz (auf direktem oder indirekten Wege) absehbar auch naturnahe Areale in ihrer Funktion als **Senken für Treibhausgase verschwinden** werden und dass sich aus dem Umbruch von Boden für Ackerland und Düngemittel Einsatz negative Klimawirkungen ergeben, dürfte der Biosprit-Boom eher zur Verschärfung der globalen Klimakrise beitragen als ihr entgegenzuwirken.

In den letzten Jahren gewinnt die **Landwirtschaft** allerdings im Spannungsfeld zwischen **Ernährungssicherheit, Klimapolitik und Energiesicherheit** weltweit erneut an Bedeutung (siehe Abbildung 18). Sie gerät in den Fokus privatwirtschaftlicher Investoren und staatlicher Politik. Denn (1) steigt der globale Bedarf an Nahrungsmitteln, (2) kommt den ländlichen Räumen (als Senken für CO₂-Emissionen) eine wichtige Rolle beim Klimaschutz zu und (3) wächst die Nachfrage nach energetisch nutzbarer Biomasse ständig an. Dass die

Landwirtschaft zunehmend als Energielieferant fungiert, hat zu einem **Investitionsboom im Agrarsektor** beigetragen, der in krassem Gegensatz zu den Entwicklungen der letzten Jahrzehnte steht. Durch den einsetzenden Investitionsschub sind die Preise für fruchtbare Ackerland schon in den letzten Jahren vielerorts sprunghaft gestiegen. Hintergrund des Wandels im Investitionsverhalten ist vor allem der enorme **Anstieg der Agrargüterpreise**, der 2007/08 seinen vorläufigen Höhepunkt erreicht hat. Viele landwirtschaftliche Güter erfuhren in diesen beiden Jahren im Vergleich zu den Durchschnittspreisen von 1997-2006 einen über 100%-igen Preisanstieg.

Die Gründe für den Preisanstieg sind vielfältig. Auf der *Nachfrageseite* waren folgende Entwicklungen zu beobachten: (1) Die über Jahre hinweg hohen wirtschaftlichen Wachstumsraten in Ländern wie **China, Indien und Südkorea** führten zu (a) steigenden Einkommen der Haushalte und Mehrausgaben für Lebensmittel. Zudem stellte sich (b) eine Veränderung der Ernährungsgewohnheiten hin zum Konsum von Fleisch-, Fisch und Milchprodukten ein. (2) Zugleich aber stieg auch die Nachfrage nach Nahrungsmitteln in den weniger entwickelten und ärmsten Ländern der Welt. Diese haben sich aufgrund der langjährigen Vernachlässigung der Landwirtschaft, nicht zuletzt aber auch aufgrund der Marktöffnung, also der Umsetzung der neoliberalen Doktrin seit den 1970er Jahren, langfristig in **Lebensmittelimporteure** verwandelt. Schließlich waren es (3) nicht zuletzt die **Biotreibstoff-Initiativen** rund um die Welt, die zur Nachfragesteigerung auf Märkten für Agrarrohstoffe geführt haben. Deren Effekt auf die enormen Preissteigerungen in den Jahren 2007/08 wird dabei je nach Berechnungsmethode höchst unterschiedlich eingeschätzt, nämlich zwischen 5% und 75% (Flammini 2008, 13).

Gleichzeitig mit dem deutlichen Nachfrageanstieg war ein *Angebotsrückgang* zu verzeichnen. Dieser hatte mehrere Gründe. (1) wurde die Versorgungskrise zumindest im Hinblick auf einige Agrarprodukte (Weizen und Reis) auch durch **Missernten** ausgelöst. (2) können solche Ernteausfälle heute schon vielerorts auf den **Klimawandel** zurückgeführt werden. **Hohe Energiepreise** haben (3) die Preise notwendiger Inputs (z.B. Dünger, Maschineneinsatz, Transport der Ernten etc.) verteuert und so die Produktions- und Transportkosten insgesamt in die Höhe getrieben.

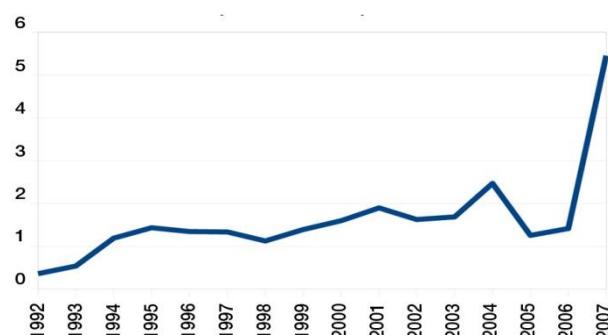


Abbildung 19: Ausländische Direktinvestitionen in die Landwirtschaft (1992-2007) in Mrd. USD. Quelle: UNCTAD (2009, 115).

Zudem kam es (4) auch zu einer künstlichen Verknappung des Angebots, indem Verkäufer ihre Rohstoff-Bestände in der Erwartung höherer Preise in den Lagern hielten (während sich gleichzeitig Käufer verstärkt auf Vorrat mit Agrargütern einzudecken versuchten). Das **spekulative Verhalten der Händler** hängt dabei mit den bereits aufgeführten Faktoren für die Schwankungen in Angebot und Nachfrage zusammen, muss aber auch im Kontext der Entwicklungen auf den Agrarrohstoffbörsen und mit deren Beeinflussung durch die Finanzmärkte betrachtet werden. Die Agrarmärkte wurden also (5) in den letzten Jahren stärker **in die globalen Finanzmärkte integriert** und sind damit auch mehr und mehr in den Fokus spekulativer Aktivitäten gerückt.

Gerade die **Zunahme ausländischer Direktinvestitionen im Agrarsektor** belegt, dass der Landwirtschaft neuerdings größere Bedeutung beigemessen wird (Abbildung 19). Von den Investitionen in die Landwirtschaft ging ein großer Teil in die Biomasseproduktion für Treibstoffe, ein anderer Teil traditionell in die Produktion von Lebensmitteln.

6.3 Soziale und ökologische Folgen der Biomassenutzung

Dass die Landwirtschaft verstärkt zum Erzeuger von Energie wird, übt enormen **Druck auf Ökosysteme**, die **globale Ernährungssicherheit** und die Lebens- und Arbeitsbedingungen in **ländlichen Räumen** aus. Soll zukünftig die Gefahr einer Inflation von Nahrungsmittelpreisen und von Hungerkrisen eingedämmt und zugleich eine stets größere Menge von Pflanzentreibstoff hergestellt werden, wird dies – jedenfalls unter heutigen gängigen technischen Bedingungen der Biospritproduktion – den Bedarf an Naturraum, also an Land und Wasser erhöhen und zugleich auf eine Steigerung der landwirtschaftlichen Erträge durch Produktivitätszuwächse hinwirken. Wenn ursprüngliche Ökosysteme in landwirtschaftliche Nutzflächen konvertiert werden und auf bereits genutzten Böden mithilfe von chemischen Düngern, Pestiziden und Gentechnik immer mehr produziert wird, hat dies negative ökologische Folgen.

Gegenwärtig ist es zuallererst die **ländliche Bevölkerung in Entwicklungs- und Schwellenländern**, die unter den direkten und indirekten Implikationen der Biospritproduktion **leidet**. Schließlich sind es die Kleinbauern und Landarbeiter in diesen Ländern selbst, die den größten Teil der weltweit hungernden Bevölkerung darstellen. Zwar bringt der Bioenergie-Boom gerade für den Landwirtschaftssektor peripherer Staaten neue wirtschaftliche Möglichkeiten, doch es ist nicht absehbar, dass kleinbäuerliche Produzenten daraus Nutzen ziehen könnten. Eher werden sie durch Großinvestoren wirtschaftlich geschädigt, von ihrem Land vertrieben und sie bleiben insgesamt sozial marginalisiert.

Aus der **Konkurrenz zwischen Energiepflanzenanbau und der Nahrungsmittelproduktion** für eine rasant wachsende Weltbevölkerung, ergibt sich ein wachsender Nutzungsdruck auf die globalen Landflächen. Der Nutzungskonflikt lässt sich

darauf aber nicht begrenzen. Denn zusätzliche Flächenansprüche sind künftig auch durch die Tierhaltung und die stoffliche Nutzung von Biomasse zu erwarten.

Aus dem Blickwinkel **marktliberaler Ökonomen** gibt es zwei Möglichkeiten, die Nutzungs- und Flächenkonkurrenz zu entschärfen und so auch den damit verbundenen Preissteigerungen für Agrarrohstoffe entgegenzuwirken: Entweder (1) das Angebot landwirtschaftlicher Produkte wird erhöht, indem bisher nicht in die agrikole Produktion einbezogene Flächen in landwirtschaftliche Böden umgewandelt werden, sodass die global verfügbare **Produktionsfläche steigt**, oder aber (2) das Agrargüterangebot wird vergrößert, indem durch eine Intensivierung der Produktion **Produktivitätszuwächse** erzielt werden, sodass die Erträge pro Flächeneinheit steigen.

In den **Zukunftsprognosen** für die Entwicklung der Landwirtschaft bis ins Jahr 2050 sind es die **Produktivitätssteigerungen**, die den größten Anteil zum Wachstum der Agrarproduktion auf globaler Ebene beitragen: Diese sollen weltweit für 90%, in Entwicklungsländern durchschnittlich für 80% der erwarteten Produktionszuwächse sorgen. Langfristig werden, so hoffen die Agrarexperten, gerade durch eine Intensivierung der Produktion agrarische Flächen freigesetzt, die dann für energetische Zwecke verwendet werden können, ohne damit konkurrierende Nutzungsweisen über die Maßen zu verdrängen oder die Entwaldungsraten zu erhöhen. Der dafür notwendige Strukturwandel des ländlichen Raums, also eine umfassende Modernisierung der Agrarproduktion, gilt allerdings in vielen Entwicklungsländern als problematisches und zeitaufwendiges Unterfangen, sodass „*in the short term unused land reserves would be the only basis for the planning of bioenergy plantations in order to avoid competition with food production.*“ (Eisentraut 2010, 47) Da die Hektarerträge absehbar nicht so schnell steigen werden wie die Nachfrage nach auf Biomasse basierenden Produkten, **scheint** die **Expansion der Agrarflächen auf globaler Ebene unabdingbar**, wenn der energiepolitisch motivierte Zugriff auf Ackerland in der nahen Zukunft nicht mit dem Ziel der Ernährungssicherheit kollidieren soll.

Laut einer Studie, die für das *Economic and Social Development Department* der FAO angefertigt wurde, soll bis 2050 die Weltagrarfläche um ca. 70 Mio. Hektar expandieren. Bis dahin wird sich die global genutzte Ackerfläche auch weiter in die Territorien der Entwicklungs- und Schwellenländer hinein verschoben haben. Den **Berechnungen „globaler Landreserven“**, die derzeit große Konjunktur haben, kann dabei lediglich der zwiespältige Nutzen attestiert werden, dass sie einen beruhigenden Effekt erzeugen.

Mit dem Umbruch neuen Landes werden (1) unweigerlich große Mengen gespeicherten **Kohlenstoffs** aus Vegetation und Böden als CO₂ freigesetzt und (2) die **Wasservorräte** geplündert. So verbraucht die Landwirtschaft schon heute 70% des weltweit abgezweigten und geförderten Süßwassers und beim Einbezug neuer Flächen wird der Wasserbedarf weiter steigen. Die Ausdehnung der globalen Agrarfläche birgt (3) die Gefahr, dass ursprüngliche Ökosysteme mit großer **biologischer Vielfalt** in landwirtschaftliche Nutzflächen konvertiert werden. Wenn neue Böden unter den Pflug genommen werden, ist

(4) auch die Existenz von für das **Klima wichtigen Biotopen** wie (Regen-)Wäldern und Feuchtgebieten gefährdet. So führen die vom Bioenergie-Boom mitverursachten Preissteigerungen im Agrarsektor letztlich auch zur Dezimierung von **Waldflächen** und damit bedeutsamer Schadstoffsenken, wie Untersuchungen zeigen.

Die sich auf diese Weise vollziehende Umwandlung von „Landreserven“ in Agrarland könnte zwar den Wettstreit um die verfügbaren Flächen zwischen den unterschiedlichen Biomasse-Marktsegmenten entschärfen. Schließlich wird mit den durch Flächenausdehnung erreichbaren Produktionssteigerungen auch ein Preisnachlass für Agrarrohstoffe in Aussicht gestellt, mit dem sich die globale Nahrungsmittelkrise in den Griff bekommen ließe. Doch muss dabei in Kauf genommen werden, dass mit der Urbarmachung der identifizierten Reserven und ihrer Einbeziehung in globale Verwertungsketten zugleich **Hunderten Millionen von Menschen die Existenzgrundlage entzogen** wird. Denn die Expansion von Agrarflächen erfolgt nicht nur vielerorts auf Kosten naturnaher Areale, sondern mit ihr werden auch andere, nicht-marktförmige Landnutzungsweisen verdrängt. So ist gerade der in den Flächenstatistiken ignorierte **Wanderfeldbau** eine überaus bedeutsame Form der Landnutzung, die etwa von 200 bis 500 Millionen Menschen in Afrika, Lateinamerika und Südostasien für ihre Subsistenz betrieben wird. Als „Reserven“ gelten zudem auch die von **sesshaften und nomadischen Hirten** genutzten Gebiete, die sich auf dem gesamten afrikanischen Kontinent, der arabischen Halbinsel, in den Hochländern und Steppen Zentralasiens, in den lateinamerikanischen Anden oder den Savannen des Chaco finden. Gerade in den trockenen und halbtrockenen Gebieten der Erde stellen die Pastoralisten oft den Großteil der Bevölkerung, und allein die wandernden Hirten werden weltweit auf 100 bis 200 Millionen geschätzt. In den Berechnungen der globalen Flächenreserven werden diese Bevölkerungsgruppen und **ihre Leistungen** für die Ernährungssicherheit, die Artenvielfalt, den Boden- und Wasserschutz **unsichtbar gemacht**. Entsprechend betrachten Regierungen und Flächenstatistiker ihre Weidegründe, Brachen und Äcker als „ungenutzt“.

So genannte „ungenutzte Flächen“ haben für die (teil)subsistenten Produzenten in ariden und semiariden Gebieten darüberhinaus lebenswichtige Funktionen als **Puffergebiete** im Fall von Dürreperioden. Sie stellen ein Reservoir für **Medizinalpflanzen** und **Zusatznahrung** dar und dienen der **Brennholzlieferung**.

6.4 Landnahme zwischen „Land Grabbing“ und „Investitionen“

Seit der Finanzkrise 2008 ist eine neue Welle **privater Landaneignung im globalen Süden** sichtbar. Die Produktion von Biomasse ist dabei ein wichtiger, wenngleich nicht der einzige Zweck. Einer Analyse der Weltbank auf Grundlage einer umfassenden Datenbank von Medienberichten zufolge zielen 37% der Projekte auf **Nahrungsmittel** (insbesondere im subsaharischen Afrika und Lateinamerika), 21% auf „industrial or cash crops“, 21% auf **biogene Kraftstoffe** (insbesondere im subsaharischen Afrika und Lateinamerika) und 21% auf **Naturschutzprojekte und Jagdreviere, Viehhaltung und Forstplantagen**.

Die Landnahmen umfassen zumeist eine Fläche von über 10.000 ha, die **meisten Flächen** betragen **rund 40.000 ha**, Landnahmen mit bis zu 1 Mio. ha sind dokumentiert. Weltweit wird die Landnahme allein **zwischen 2008 und 2009** auf **grob 45 Mio. ha** geschätzt. Dies dürfte eine konservative Angabe sein.

Nur etwa ein **Fünftel** der bekannten Versuche zur Landnahme dürfte bis dato auch **realisiert** worden sein (Stand Sept. 2010). Die Analyse von Daten auf Grundlage von Medienberichten zeigt: Investoren bevorzugen Länder mit (a) großen unbewaldeten landwirtschaftlich nutzbaren Flächen und (b) einer schwachen Verankerung von Landrechten. Das Investitionsklima eines Landes ist von untergeordneter Bedeutung. Der *yield gap* eines Landes (Unterschied zwischen maximal möglichen und durchschnittlich in einer Region realisierten landwirtschaftlichen Erträgen) ist für das Investorinteresse nicht entscheidend, korreliert jedoch negativ mit der Zahl bereits realisierter Aneignungen. Dies lässt auf ein **starkes spekulatives Motiv** schließen. Landfläche erscheint aufgrund der Ausweitung des westlichen Ernährungsstils (Fleisch, Milch), der anwachsenden biogenen Kraftstoffproduktion und den Auswirkungen des Klimawandels (Wasserverknappung) als „strategische Ressource“. Investoren wollen diese als „sichere Anlage“ möglichst rasch in ihre Kontrolle bekommen.

Die abgeschlossenen oder anvisierten Land Deals sind von großer **Intransparenz** gekennzeichnet. „Verträge“ sind bis dato praktisch nicht öffentlich bekannt. Sie existieren zu einem Teil vermutlich schriftlich nicht, der Übergang zu nicht belegbaren Versprechungen seitens der Investoren scheint fließend, **Korruption** auf lokaler und nationaler Ebene spielt vermutlich eine große Rolle. Die „Verträge“ sind zum Teil in übergreifende Abkommen eingebettet. Internationale Investitionsabkommen bilden dabei einen wichtigen rechtlichen Rahmen. Als „Vertragspartner“ fungieren auf Seiten der Investoren (1) Staaten, (2) *Sovereign Wealth Funds* und (3) der Privatsektor (Agrobusiness, Investmentbanken, Händler, Bergbauunternehmen). Die Investoren stammen vorrangig aus den Golfstaaten, China, Nordafrika (Libyen und Ägypten), Russland, EU-Ländern (insbesondere Großbritannien) und den USA. Die Rolle inländischer Privatinvestoren ist (sehr) bedeutend, aber vergleichsweise weniger bekannt. Zielgebiet der Landnahmen ist schwerpunktmäßig **Subsahara-Afrika**, gefolgt von Lateinamerika, Ost- und Süd-Asien, Osteuropa und Zentralasien, Nordafrika und Mittlerer Osten.

Die Landnahme verstößt in vielen Fällen gegen grundlegende **Menschenrechte**. Sie geht oft mit Enteignung ohne ausreichende Kompensation einher und bedroht die (teil)subsistente Lebensweise der von Armut stark betroffenen ländlichen Bevölkerungen. Die Problempunkte der gegenwärtigen Landnahme sind zusammengefasst:

- Direkte Gewalt (Umsiedlung, Enteignung) ist in mehreren Fällen dokumentiert und offenbar weitverbreitet
- Der Verlust von Lebensgrundlagen durch Enteignung wird zumeist unzureichend entschädigt

- Die Auswirkungen auf die Position von Frauen sind vielfach stark negativ
- Beschäftigungseffekte und physische Investitionen sind häufig deutlich unter den Erwartungen
- Sind die „Vertragspartner“ lokale Bevölkerungsgruppen, so sind die Verhandlungen asymmetrisch, intransparent und von Wissensdefiziten der Bevölkerung geprägt
- Benefit sharing ist unzureichend oder gar nicht geregelt
- Die Landnahmen zeichnen sich in der Regel durch große Intransparenz aus
- Feasibility-Studien werden nur zum Teil realisiert; deren Qualität war bis jetzt nur in Einzelfällen überprüfbar, sie vernachlässigen wesentliche Aspekte
- Im Fall von Pacht beträgt die Dauer typischerweise 50-99 Jahre
- Landnahmen in Afrika erfolgen oftmals zu extrem niedrigen Preisen

Die Weltbank, FAO und UN-Organisationen interpretieren die Welle der Landnahme als **potenzielle „Win-Win“-Situation** und sprechen von „**landwirtschaftlichen Investitionen**“. Diese sollen die Armut reduzieren, die Produktivität der Landwirtschaft erhöhen und Energiesicherheit befördern. Freiwillige Selbstverpflichtungen und „good governance“ sollen diese Ziele erreichbar machen, wobei der Vertragslandwirtschaft eine zentrale Rolle zuerkannt wird. Eine Analyse dieser Perspektive ergibt, dass eine „Win-Win“-Situation nicht sichtbar ist. Landnahme reduziert Armut nicht, sondern verstärkt sie. Eine Erhöhung der Produktivität durch Vertragslandwirtschaft ist ein gesondertes Thema und hängt mit der Landnahme nicht direkt zusammen. Vertragslandwirtschaft würde jedenfalls – entsprechend der bisherigen mehrheitlichen Erfahrung mit solchen Modellen – die Abhängigkeit der Kleinbauern verstärken und eine Verschlechterung ihrer ökonomischen Situation bewirken. Der mögliche Beitrag „freiwilliger Selbstverpflichtungen“ wird von der Weltbank selbst relativiert, während „good governance“ unter den Bedingungen fortlaufender „Strukturanpassung“ (unter Ägide der Weltbank) schwer denkbar ist. Da Biomasse selbst bei deutlicher Ausweitung der biogenen Kraftstoffproduktion nur einen geringen Teil der Nachfrage nach Treibstoff decken kann, ist Energiesicherheit auch für den globalen Norden auf diesem Weg nur eingeschränkt zu gewinnen.

6.5 Ausweg „Zertifizierung“?

Die Ausweitung der Produktion biogener Kraftstoffe hat zusammengefasst folgende negative ökologische Auswirkungen:

(1) **Direkte Landnutzungsänderungen.** Aufgrund der Freisetzung von in der Vegetation und im Boden gebundenen Kohlenstoffs ist die Neuanlage von landwirtschaftlichen Flächen für die Produktion biogener Kraftstoffe mit erheblichen *carbon payback times* verbunden. Diese betragen bei Rodung von Regenwald mehrere Jahrzehnte bis zu einem Jahrtausend.

Die Ausweitung landwirtschaftlicher Flächen in tropischen Gebieten erfolgte seit den 1980er Jahren nachweislich vor allem zulasten von Waldgebieten und ging mit Intensivierung einher.

(2) **Indirekte Landnutzungsänderungen.** Höhere Preise bzw. Subventionen für die Produktion von biogenen Kraftstoffen können auch indirekt zu Nutzungsveränderungen führen. Nahrungsmittelproduktion oder Viehhaltung wird dann in bis dahin extensiv oder nicht genutzte Bereiche verlagert (z.B. in Waldgebiete). (3) **Klimaschädliche Begleiteffekte.** (a) Bei intensiver Biomasseproduktion wird Stickstoffdünger eingesetzt, der zur Emission des sehr klimaschädlichen N₂O führt. (b) Bei der Produktion und im Transport der biogenen Kraftstoffe werden gegenwärtig fossile Stoffe eingesetzt, was die Klimabilanz der biogenen Kraftstoffe ebenfalls verschlechtert. (4) **Hoher Wasserverbrauch.** 2007 wurde 6 Mal soviel Wasser für die Bewässerung von Biotreibstoffplantagen verwendet wie global als Trinkwasser konsumiert wurde. (5) **Zum Teil geringer Nettoenergiegewinn (EROEI).** Während Zuckerrohr-Ethanol aus Brasilien einen relativ hohen EROEI aufweist, ist er in vielen anderen Fällen (sehr) gering. (6) **Dünger- und Pestizideinsatz.** Dieser kann sehr intensiv sein, v.a. bei Mais und Soja. Auch der Einsatz organischen Düngers (Zuckerrohr-Vinasse) führt vielerorts zu Wasserverschmutzungen.

Zusammengefasst sind folgende negative soziale Auswirkungen bekannt:

(1) Die vermehrte Produktion von biogenen Kraftstoffen aus Nahrungsmittelpflanzen trägt zur Steigerung der Nahrungsmittelpreise und dem Anstieg des **Welthungers** bei. (2) Die Ausweitung großflächiger Intensivlandwirtschaft zum Zweck der biogenen Kraftstoffproduktion ist ein Moment der gegenwärtigen **Landnahme**, die bedeutende (teil)subsistente Bevölkerungsgruppen von dem für ihr Überleben notwendigen Landzugang ausschließt. (3) Auf den Plantagen zur biogenen Kraftstoffproduktion sind die **Arbeitsbedingungen** häufig schlecht und die Löhne niedrig.

Unter diesen Bedingungen ist keine klimaverträgliche und sozial vertretbare „Brückenfunktion“ von biogenen Kraftstoffen der „ersten Generation“ für jene der „zweiten Generation“ (organische Abfälle, Zellulose) – deren behauptete soziale und ökologische „Unbedenklichkeit“ ebenfalls zu hinterfragen ist – gegeben. Sofern biogene Kraftstoffe auf „marginalen“ Flächen erzeugt werden sollen, ist der energieintensive Aufwand an Dünger und Bewässerung höher und die Profitabilität tendenziell geringer. Darüberhinaus sind „marginale“ Flächen bereits zum überwiegenden Teil (und klimafreundlicher) genutzt.

Zertifizierung kann die Problematik der indirekten Landnutzungsänderung grundsätzlich nicht bearbeiten. Auch die Auswirkung der biogenen Kraftstoffproduktion auf die Nahrungsmittelpreise ist damit nicht in den Griff zu bekommen. Darüberhinaus sind Rechtswirklichkeit und formelle Standards in den hauptsächlichen Produktionsgebieten für biogene Kraftstoffe zumeist sehr unterschiedlich. Davon abgesehen sind bisherige Ansätze einer Zertifizierung nicht mit klaren Sanktionen verbunden und daher auch in ihrem limitierten möglichen Einflussbereich nur von geringer Wirkung oder kontraproduktiv (wenn sie durch

„green washing“ den Konsum biogener Kraftstoffe unter den gegebenen Verhältnissen weiter unterstützen).

Die zentralen Aussagen der Analyse der **globalen Folgen zunehmender Biomassenutzung** sind:

- (1) Biomasse ist auf absehbare Zeit die bedeutendste erneuerbare Energie
- (2) Die Produktion von Biomasse verstärkt zusammen mit steigendem Bedarf an Nahrungsmitteln (v.a. Fleisch und Milch) sowie NAWAROs Flächennutzungskonflikte.
- (3) Die Verteuerung der fossilen Stoffe und die steigende Biomassenachfrage führt zu einer Verteuerung der Nahrungsmittel und somit zu einem globalen Verarmungsschub.
- (4) Mittelfristig ist landwirtschaftliche Flächenexpansion zu erwarten.
- (5) Unter den Bedingungen des konzerndominierten und profitorientierten Produktionsmodells wird dies negative soziale und ökologische Folgen haben.
- (6) „Zertifizierung“ von Biomasseproduktion wird negative Folgen vermutlich nicht eindämmen können

7 Normative Szenarien der „Selbstversorgung“

7.1 Einleitung

Sowohl die zurückgehende Verfügbarkeit fossiler und mineralischer Ressourcen als auch der Klimawandel erfordern einen möglichst raschen und letztlich **vollständigen Umstieg** nicht nur des energetischen sondern auch des stofflichen Metabolismus auf die Nutzung **erneuerbarer Energien und stofflich genutzter Ressourcen**.

Wenn dieser Umstieg nicht mit einer Auslagerung von Nutzungskonflikten in andere Weltregionen einhergehen soll, ist eine **inländische Deckung** dieses zusätzlich entstehenden Biomassebedarfs **anzustreben**. (1) Ob überhaupt, (2) unter welchen Umständen und (3) in welchem Ausmaß dies möglich ist, wird im Folgenden im Rahmen hypothetischer normativer Szenarien für die stoffliche und energetische Nutzung von Biomasse in Österreich auf Basis entsprechender Szenarien diskutiert.

7.2 Ausgangssituation

Im Bereich der Nahrungsmittelversorgung befindet sich Österreich hinsichtlich seiner Außenhandelsbilanz, also der Abhängigkeit von Importen, in einer vergleichsweise guten Ausgangssituation. Einen hinsichtlich des Flächenbedarfs relevanten Nettoimport gibt es lediglich bei: Ölfrüchten und deren Erzeugnissen, als Kraftfutter verwendetem Sojaextraktionsschrot, Nahrungs- und Genussmitteln, die aufgrund der klimatischen Bedingungen in Österreich nicht angebaut werden können (Kakao/Schokolade, Kaffee, Tee, Bananen) und – rechnet man die Meeresfläche mit ein – bei Fischen. Dem gegenüber steht ein deutlicher Nettoexport von Rind- und Kalbfleisch sowie Milch und Milchprodukten, sodass sich insgesamt sagen lässt, dass der **Außenhandel Österreichs** für den Bereich **Ernährung ausglichen** ist.

Im Bereich der auf Agrarland produzierten, stofflich genutzten Biomasse besteht heute auf der einen Seite ein erheblicher und in den vergangenen Jahren deutlich angewachsener Importbedarf durch die Nutzung von **Baumwolle** bzw. daraus produzierter Textilien. Mit ihrem sozial und ökologisch oft sehr problematischen Anbau ist ein entsprechender Flächenbedarf außerhalb Österreichs Grenzen verbunden. Auf der anderen Seite besteht bei der in Österreich durch das Unternehmen *Agrana* vor allem aus Mais und Kartoffeln produzierte **Stärke** bzw. der daraus hergestellten Produkte ein Exportüberschuss.

Der Anteil **biogener Energieträger** am Endenergieverbrauch in Österreich beträgt derzeit knapp 16% und trägt damit mehr als die Hälfte des Gesamtbeitrags erneuerbarer Energieträger zum Endenergieverbrauch bei (Kalt et al. 2010, 7). Etwa 80% der energetisch genutzten Biomasse in Österreich basiert auf **forstlichen Rohstoffen** (ebd., S. 6). Traditionell nimmt Waldbiomasse eine bedeutende Rolle für die Beheizung von Gebäuden

ein. Während allerdings der Verbrauch von Scheitholz etwa stagniert, wächst der Verbrauch von Holzpellets, Waldhackgut und Rinde (Pellets und Hackgut für dezentrale Anlagen, Hackgut und Rinde für Fernwärmewerke bzw. die gekoppelte Strom- und Wärmeproduktion). Deutlich gewachsen ist zwischen 2005 und 2009 die Stromproduktion aus Waldbiomasse (von 0,73 auf 2,03 GWh), meist in Kopplung mit Wärmeinspeisung in ein Fernwärmennetz, und ist mit ca. 3% des gesamten Stromverbrauchs in Österreich etwa gleich hoch wie die Stromproduktion aus Windenergie (Statistik Austria 2010).

Die energetisch genutzte Biomasse aus agrarischen Rohstoffen nimmt zwar im Vergleich zur energetisch genutzten Waldbiomasse noch eine untergeordnete Rolle ein, allerdings waren hier zwischen 2005 und 2009 sehr hohe Steigerungsraten im Verbrauch beobachtbar. Der Verbrauch an biogenen Treibstoffen stieg in diesem Zeitraum fast um den Faktor 10 (von 2,34 TJ auf 22,5 TJ), die aus **Biogas** produzierte Strommenge stieg von 0,3 auf 0,64 GWh in diesem Zeitraum (Statistik Austria 2010). Das starke Wachstum im Bereich der biogenen Treibstoffe wurde vom Ziel, bis 2010 eine **Biotreibstoff-Beimischungsquote** von 5,75% zu erreichen, angetrieben (seit Oktober 2008 gilt in Österreich die von der EU für 2010 vorgeschlagene Quote von 5,75%). Gemäß der Österreichischen Energiestrategie soll die in Österreich verbrauchte Menge an biogenen Treibstoffen bis zum Jahr 2020 etwa verdoppelt werden (BMLFUW, BMWFJ 2010, 11).

Eine im Rahmen des Projekts „ALPot“ (Kalt et al. 2010, 22) durchgeführte Abschätzung kommt zum Ergebnis, dass der für die Erzeugung der derzeit (2008 bzw. 2009) energetisch genutzten Ackerfrüchte benötigte Brutto-Flächenbedarf in etwa 500.000 ha beträgt (inklusive importierte Rohstoffe und ohne Berücksichtigung der Nebenprodukte). Davon entfallen ca. 34.000 ha auf Biogassubstrate, ca. 80.000 ha auf Ethanol, 2.000 ha auf die mehrjährigen Energiepflanzen *Miscanthus* und Kurzumtriebsholz und etwa 380.000 ha auf Pflanzenöl (wobei über 90% für die Biodieselproduktion und der Rest für die Verwertung in Ökostromanlagen bzw. die Nutzung in pflanzenöltauglichen Fahrzeugen genutzt wird). Ein Großteil der in Österreich genutzten Energieträger aus landwirtschaftlicher Produktion wird importiert (ebd., 22). Dies betrifft insbesondere die Biodieselproduktion. Der steigende Verbrauch von Biodiesel hat zu einem Mehrbedarf geführt, der nahezu ausschließlich durch **Importe** gedeckt wurde. Importiert wurde in erster Line aus den östlichen Nachbarländern bzw. Osteuropa, aber auch bei den Palmölimporten war in den letzten Jahren ein deutlich steigender Trend zu verzeichnen (ebd., 19).

7.3 Ernährungsautonomie bis 2050

Die Entwicklung des durch die Ernährung der in Österreich lebenden Bevölkerung verursachten Biomassebedarfs wird vor allem durch zwei Faktoren beeinflusst: (1) Die Entwicklung der inländischen Bevölkerung und die Ernährungsgewohnheiten, insbesondere den Anteil von **Tierprodukten** in der Ernährung. Tierprodukte verursachen wegen der durch den Metabolismus des Tiers verursachten Verluste bei der Umwandlung von Futtermitteln in Tierprodukte einen verglichen mit den entsprechenden pflanzlichen Lebensmitteln hohen Flächenbedarf. Dabei muss allerdings berücksichtigt werden, dass vor allem Wiederkäuer potenziell Biomasse und damit Flächen nutzen können, die teilweise nicht für den Anbau pflanzlicher Nahrungsmittel zur Verfügung stehen. In Österreich gilt dies etwa für Grünland mit für Ackerland zu starker Hangneigung.

Die *Statistik Austria* geht in ihrem aktuellen demographischen Hauptszenario davon aus, dass die Bevölkerung Österreichs von heute 8,4 Mio. auf im Jahr 2050 9,5 Mio. Menschen wächst. Unter ansonsten konstanten Bedingungen (v.a. gleicher Ernährungsweise) verursacht dieses **Bevölkerungswachstum** ein entsprechendes Wachstum des **Nahrungsmittel- und damit Biomassebedarfs um 13%**. Bei den österreichischen Ernährungsgewohnheiten pro Kopf zeigt sich in den vergangenen Jahren insgesamt eine gewisse Sättigung. Während der Fleischkonsum stagniert, ist eine Verschiebung von Rind- und Kalbfleisch hin zu **Geflügelfleisch** zu beobachten. Stark ansteigend ist allerdings der Konsum von – fast vollständig importiertem – **Fisch**. Deutlich steigend ist zudem weiterhin der Pro-Kopf-Verbrauch **pflanzlicher Öle**, leicht steigend der Pro-Kopf-Verbrauch von **Milch- und Milchprodukten**.

Geht man vom Hauptszenario für die Bevölkerungsentwicklung und einer Fortschreibung der Trends bei den Ernährungsgewohnheiten pro Kopf aus, so zeigt eine Modellierung der entsprechenden Biomasseflüsse eine **Erhöhung des inländischen Biomassebedarfs von insgesamt 11,6 Mio. Tonnen Trockenmasse (TM) im Jahr 2005 auf 12,6 Mio. Tonnen TM im Jahr 2050**, wenn von einer physisch konstanten Außenhandelsbilanz ausgegangen wird.

Deutlich reduzieren lassen **würde** sich dieser Biomassebedarf **durch den Rückgang des Anteils von Tierprodukten** in der Pro-Kopf-Ernährung. Bei einem Rückgang des Konsums von Fleisch um 60% pro Kopf (20% weniger Rind und Kalb, 80% weniger Schwein) und einem entsprechenden Ausgleich durch einen höheren Verbrauch an Getreideprodukten und Kartoffeln würde der Biomassebedarf bis 2050 trotz steigender Bevölkerung und ausgeglichinem Außenhandel auf 9,9 Mio. Tonnen Trockenmasse zurückgehen.

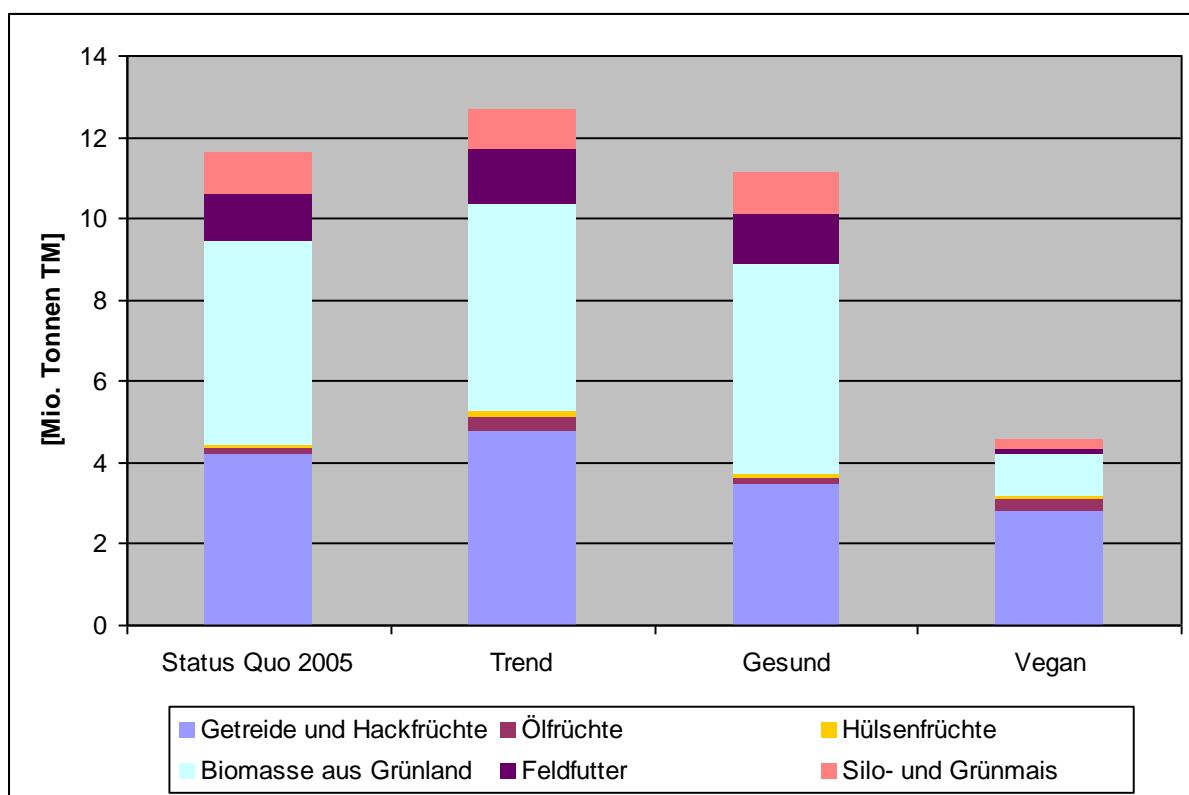


Abbildung 20: Biomassebedarf für in Österreich konsumierte Nahrungsmittel im Jahr 2050 unter Annahme einer biophysisch absolut im Vergleich zu 2005 konstant bleibender Außenhandelsbilanz und verschiedener Ernährungsszenarien im Vergleich zum Status Quo im Jahr 2005. Zusätzlich zu den im Text erläuterten illustriert das Ernährungsszenario „Vegan“, welcher Biomassebedarf sich im Falle eines völligen Verzichts auf Tierprodukte ergeben würde.¹

Da die **innerhalb Österreichs agrarisch insgesamt nutzbare Fläche kaum zu vergrößern** ist, hängt die Frage, inwieweit dieser inländisch anfallende Biomassebedarf gedeckt werden kann, vor allem von der Entwicklung der Flächenerträge ab. Dass diese in den kommenden Jahrzehnten deutlich steigen werden, wie in vielen entsprechenden Szenarien angenommen wird, ist aus folgenden Gründen fraglich: (1) erschwert eine wünschenswerte Ökologisierung der agrarischen Produktionssysteme tendenziell eine Fortführung der Flächenertragssteigerungen, dazu gehört auch die steigende Notwendigkeit, Phosphor zu rezyklieren, (2) werden Steigerungen des Flächenertragspotenzials durch verbesserte Sorten infolge grundsätzlicher pflanzenphysiologischer Zusammenhänge, wie etwa das Verhältnis zwischen Stroh und Korn, immer schwieriger und (3) ist in den letzten 20 Jahren in Österreich eine Stagnation bei den durchschnittlichen Flächenerträgen bei Weizen,

¹ Die im Text angeführten und den Grafiken zugrundeliegenden Ergebnisdaten für die normativen Szenarien (Bereich Ernährung und stofflich genutzte Biomasse) können aufgrund in der Zwischenzeit getätigten leichter Anpassungen des Modells und ausgebesserter Fehler leicht von den entsprechenden, in der Erstfassung des Argumentariums angegebenen Ergebnisdaten abweichen. Diese Abweichungen sind jedoch so klein, dass sich die getroffenen Aussagen und Schlussfolgerungen des Argumentariums dadurch nicht verändern.

Roggen, Gerste und Hafer zu beobachten. Die **Annahme steigender Flächenerträge** kann deshalb zwar nicht ausgeschlossen werden, ist aber mit **Vorsicht** zu behandeln.

Der allein durch die Ernährung verursachte Biomassebedarf könnte jedenfalls auch im Fall einer den Trend fortführenden Ernährung auf dem Stand der heutigen Flächenerträge gedeckt werden. Für den zusätzlichen Biomassebedarf würden die heute brachliegenden sowie jene Flächen ausreichen, die gegenwärtig für die Produktion von in den technischen Verbrauch eingehender Stärke genutzt wird. **Auch mit biologischen Produktionsmethoden könnte die inländische Ernährung gesichert werden**, ohne dass dabei zusätzliche Biomasseimporte entstehen. Allerdings würde dies wegen der reduzierten Flächenerträge und dem zusätzlichen Flächenbedarf für den Anbau von Leguminosen einen **deutlichen Rückgang des Fleischkonsums um etwa 60% voraussetzen**.

Die zentralen Aussagen der Analyse der Möglichkeit einer **Ernährungsautonomie** sind:

- (1) Der durch die Ernährung verursachte Biomassebedarf kann auch in einem Trendszenario bis 2050 inländisch gedeckt werden.
- (2) Dies ist auch mit biologischen Produktionsmethoden möglich, wenn der Fleischkonsum um ca. 60% zurückgeht.

7.4 Ernährungs- und Stoffautonomie bis 2050

Verschiedenste Materialien, die größte Gruppe davon **Kunststoffe**, werden gegenwärtig auf Basis fossiler Rohstoffe hergestellt. Hinsichtlich ihrer Verbrauchsmenge in Österreich am bedeutsamsten sind dabei – in abnehmender Reihenfolge – Bitumen, Polyethylen, Polypropylen, PVC, Lösungsmittel, Schmiermittel und Stickstoffdünger (in N-Äquivalenten), die gemeinsam in Masseneinheiten etwa zwei Drittel (65%) des inländischen Verbrauchs von Stoffen ausmachen, die auf Basis fossiler Rohstoffe produziert werden. Von den übrigen 35% nehmen sonstige Kunststoffe, Kunstfasern und Gummi etwa 20% und sonstige Stoffe, darunter zum Beispiel die als Elektroden genutzten Materialien Graphit und Kohlenstoff, die übrigen 15% ein.

Prinzipiell ist es denkbar, fossile Energien durch **Biomasse als Rohstoffbasis** der heute verwendeten oder ihnen hinsichtlich ihrer Eigenschaften entsprechenden Materialien zu ersetzen. Voraussetzung davon ist die Entwicklung und der großtechnische Einsatz chemischer Prozesse, durch die bisher auf Basis von fossilen Ressourcen produzierte Materialien oder Substitute dieser Stoffe auf Basis von Biomasse erzeugt werden können. Solche Prozesse werden bereits **heute in einzelnen Fällen in industriellem Maßstab** eingesetzt, in anderen Fällen befinden sie sich in verschiedenen Stadien der Entwicklung.

So wird etwa der mengenmäßig bedeutsamste Kunststoff **Polyethylen** (PE) gewöhnlich auf Basis von Ethylen erzeugt, das durch das so genannte Cracking der langkettigen, im Erdöl enthaltenen Kohlenwasserstoffe gewonnen wird. Technisch ist es jedoch auch möglich, Ethylen durch die **Dehydratisierung von aus Biomasse gewonnenem Ethanol** (also Bioethanol) zu gewinnen. In relativ geringem, aber durchaus relevantem Ausmaß wurde dies bereits im Zuge der Ölkrise während der 1970er Jahre in Indien und während der 1980er Jahre in Brasilien praktiziert, was aber aufgrund der zwischenzeitlich fallenden Ölpreise wieder eingestellt wurde. Im Zuge der wieder anziehenden Ölpreise kündigten im Jahr 2007 zwei große brasilianische Unternehmen, *Braskem* und ein Joint Venture aus *Dow and Crystalsev* an, ab 2010 Polyethylen wieder in großem Maßstab in einer Anlage in Brasilien zu produzieren. Am 24. September 2010 wurde die Anlage, die mit einer Produktionskapazität von 200.000 Tonnen pro Jahr knapp 60% des PE-Bedarfs Österreichs decken könnte und dafür jährlich 570 Mio. Liter Ethanol verbraucht, im brasilianischen Bundesstaat Rio Grande do Sul eingeweiht.

Auf Basis verfügbarer Literaturdaten über Prozesse zur biobasierten Erzeugung heute petrochemisch erzeugter Materialien oder ihrer Entsprechung ist somit eine Modellierung des Biomassebedarfs möglich, der aus einer Substitution der stofflich genutzten fossilen Ressourcen resultieren würde.

Nimmt man bis 2050 einen möglichen Bereich für die Verbrauchsentwicklung in Österreich an, der zwischen einer Halbierung und einer Verdoppelung des Verbrauchs für das Jahr 2005 liegt, so ergibt sich ein **Biomassebedarf von 4 bis 20 Mio. Tonnen Trockenmasse (TM)**, wenn die Recyclingrate konstant auf dem Stand des Jahres 2005 bleibt.

Anders als energetisch können viele stofflich genutzte Materialien recycelt und damit der Verbrauch primär aus den Grundstoffen hergestellten Materialien reduziert werden. Geht man von **äußerst optimistischen Annahmen** bezüglich möglicher Recyclingraten aus, lässt sich der Biomassebedarf innerhalb des oben definierten Verbrauchsspektrums auf **2 bis 12 Mio. Tonnen TM reduzieren**.

Die Art der verwendeten Biomasse ist teilweise variierbar. Zum größten Teil betrifft die Variationsmöglichkeit jene Materialien, die auf **Basis von Ethanol** produziert werden. Ethanol lässt sich in Technologien *erster Generation* aus jeder stärke- oder zuckerhaltigen Biomasse herstellen, in *zweiter Generation* außerdem aus jeder Form der Biomasse, die Cellulose und Hemicellulose enthält, also Gras, Stroh oder Holz. Die Nutzung von Technologien zweiter Generation, mit deren Marktreife verschiedentlich ab 2020 bis 2025 gerechnet wird, würde so prinzipiell die Möglichkeit bieten, Holz und etwaig vorhandenes Stroh als stoffliche Grundlage zu nutzen.

Geht man von der Grundlage der Ernährungssicherheit im oben erläuterten Sinn aus, so kann man anhand des Modells beantworten, unter welchen Umständen zusätzlich dazu die vollständige Substitution stofflich genutzter fossiler Ressourcen durch Biomasse bis 2050

möglich ist. Wiederum spielt dabei die Annahme über die Entwicklung der Flächenerträge sowie darüber hinaus die Entwicklung der Ernährungsgewohnheiten eine wichtige Rolle.

Geht man davon aus, dass die **Flächenerträge** auch in einem Szenario konventioneller Landwirtschaft **konstant bleiben** und die Entwicklung des Nahrungsmittelverzehrs pro Kopf die Trendentwicklung fortsetzt, so zeigt sich, dass der relevante **Materialverbrauch unter keinen Umständen** durch inländisch produzierte Biomasse **zu decken** wäre. Ein konstanter Materialverbrauch bei konstanten Flächenerträgen ist auf Basis inländisch erzeugter agrarischer Biomasse nur dann denkbar, wenn bis 2050 (1) der Fleischkonsum deutlich zurückgeht (Ernährungsszenario „Gesund“) sowie (2) eine äußerst hohe Recyclingrate erreicht wird, die eine tiefgreifende Veränderung des Produktdesigns in Richtung Rezyklierbarkeit erfordern würde, während die Hälfte des heutigen Materialverbrauchs auch mit geringeren Recyclingraten durch inländisch erzeugte Biomasse gedeckt werden könnte. Nur wenn Holz statt Mais oder Stroh bzw. Gras prioritär als Grundstoff genutzt wird, ist bei äußerst hohen Recyclingraten auch ein Wachstum des Verbrauchs biophysisch nicht auszuschließen. Dabei muss allerdings berücksichtigt werden, dass dieses Holz dann nicht mehr für die energetische Verwertung zur Verfügung steht.

Bei vollständiger Umstellung auf **biologische Landwirtschaft** kann **auch die Hälfte des derzeitigen, petrochemischen Stoffverbrauchs nicht aufrechterhalten** werden und dies unter Bedingungen von als maximal eingeschätzten Recyclingraten. Ein weiteres Wachstum des stofflichen Verbrauchs mit einer Verdoppelung bis 2050 wäre schließlich nur dann denkbar, wenn der Fleischkonsum deutlich zurückgeht (Ernährungsszenario „Gesund“), während gleichzeitig die **Flächenerträge deutlich ansteigen**.

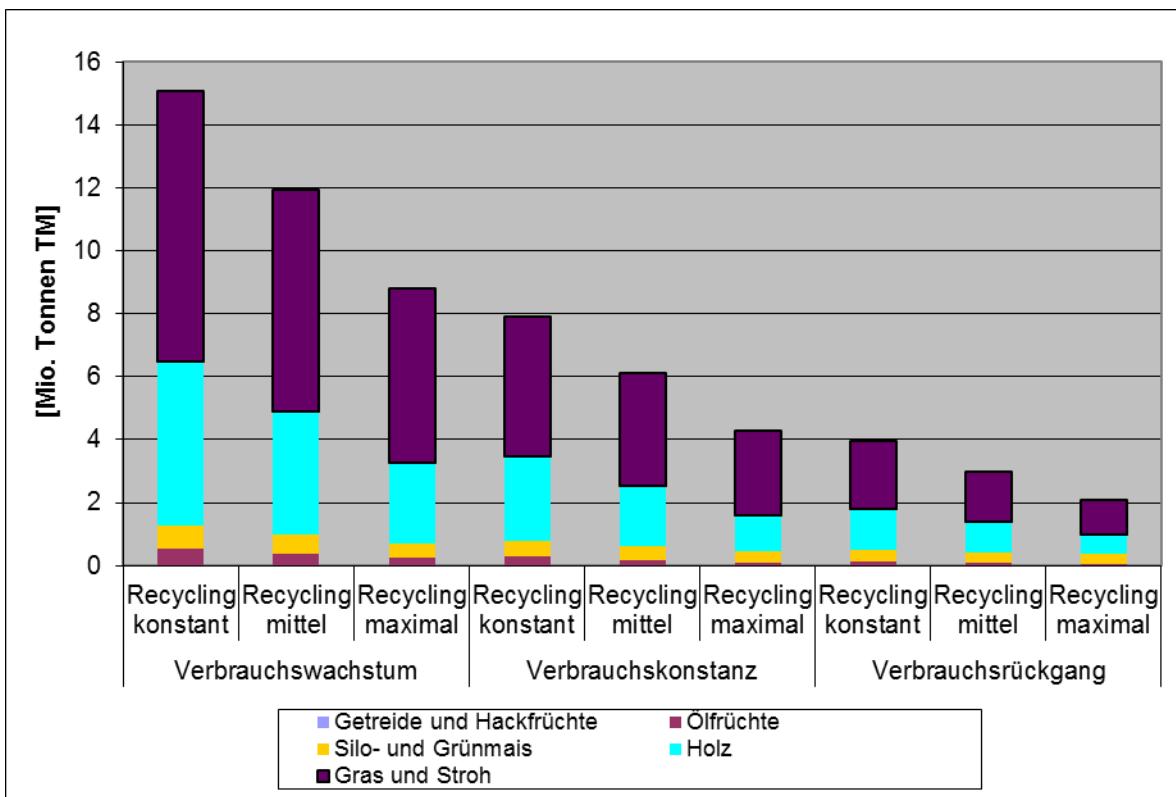


Abbildung 21: Biomassebedarf zur vollständigen Substitution stofflich genutzter fossiler Rohstoffe im Falle einer primären Nutzung von Stroh und Gras, in Abhängigkeit verschiedener Entwicklungen für Verbrauch und Recycling. Die dabei angenommene konventionelle Landwirtschaft unterscheidet sich lediglich durch den leicht höher liegenden Bedarf von Silo- und Grünmais, der für die biogene Produktion des Stickstoffdüngers benötigt wird.

Prinzipiell wäre es denkbar, den Flächenbedarf für die Materialherstellung deutlich zu reduzieren, indem die Herstellung der als Grundstoffe benötigten Kohlenwasserstoffe auf Basis von **Wasserstoff** erfolgt, das durch **Elektrolyse** erzeugt wird, für die Wind, Wasser und Sonne die Energie liefern. Dies hätte allerdings **einen erheblichen zusätzlichen Strombedarf** zur Folge. Würde etwa die heute in Österreich verbrauchte Menge an Polypropylen auf diesem Weg produziert, würde das den Einsatz von 21,7 PJ/Jahr an elektrischer Energie erfordern, knapp 11% des Stromverbrauchs von Österreich im Jahr 2005. Dennoch stellt sich vor dem Hintergrund dieser technologischen Möglichkeit die Frage, ob die natürlichen Schwankungen der Elektrizitätserzeugung durch erneuerbare Energien teilweise dadurch aufgefangen werden könnten, dass die **überschüssige Elektrizität** für die Herstellung von Wasserstoff verwendet wird, der wiederum die Grundlage etwa für Stickstoffdünger bilden könnte.

Eine **weitere Möglichkeit** zur Reduktion des Flächenbedarfs, die im Rahmen des Modells wegen des daraus entstehenden zu hohen Komplexitätsgrades nicht berücksichtigt werden konnte, ist die Substitution heute verwendeter durch **alternative Materialien** mit einem geringeren Flächenbedarf in der Herstellung. Insbesondere stellt sich die Frage, inwieweit die Verwendung natürlicher Materialien wie **Holz** (z.B. als Fensterrahmen) oder **Hanf** (z.B. als Dämmstoffe) den stark verarbeiteten Materialien wie PVC (z.B. als Entsprechung beim

Fensterrahmen) hinsichtlich des damit verbundenen Flächenbedarfs überlegen sind. Das Beispiel des Fensterrahmens zeigt, dass dies durchaus so sein könnte.

Nimmt man an, dass PVC durch Nutzung von Technologien zweiter Generation auf Basis von Holz produziert wird, lässt sich der Holz- und damit Flächenbedarf eines Holz- mit dem eines PVC-Fensters unmittelbar vergleichen. Dabei zeigt sich: Während – Verarbeitungsverluste nicht eingerechnet – für das Holzfenster 17 kg Holz benötigt werden, würden in das entsprechend verwendete PVC etwa 47 kg Holz einfließen. Obwohl für eine zuverlässige Aussage der Vergleich weiterer Materialien notwendig wäre, deutet dies darauf hin, dass **Materialien mit einer geringen Verarbeitungstiefe** einen relativ zu ihren verarbeiteten Substituten geringeren Flächenbedarf aufweisen, was auch aufgrund der meist bei der Verarbeitung auftretenden Umwandlungsverluste plausibel scheint. Zudem dürfte das Potenzial zum stofflichen Recycling bei natürlichen Materialien wie Holz geringer sein, was entsprechend das Potenzial der Flächenbedarfsminderung durch stoffliches Recycling verringern würde.

Zieht man jedoch entsprechende Substitutionsmöglichkeiten und die Nutzung von Wasserstoff nicht in Betracht und nimmt außerdem vor dem Hintergrund der oben diskutierten Faktoren an, dass die Flächenerträge bis 2050 konstant bleiben, so ist es wahrscheinlich, dass eine vollständige Substitution stofflich genutzter fossiler Ressourcen durch inländisch erzeugte Biomasse bis zum Jahr 2050 nur dann möglich ist, wenn der Verbrauch entsprechender Materialien zurückgeht, bei gleichzeitig deutlicher Steigerung der Recyclingraten. Ein **Trendszenario** mit einem weiter wachsenden stofflichen Verbrauch würde die inländischen Produktionskapazitäten für Biomasse übersteigen und so zu einer **wachsenden Importabhängigkeit für Biomasse** führen. Dies setzt freilich noch voraus, dass inländisch keinerlei agrarisch erzeugte Biomasse primär in die Energieerzeugung fließt (für kombinierte Szenarien stofflich und energetisch genutzter Biomasse, siehe den nächsten Abschnitt).

Die oben skizzierten Szenarien zeigen, was unter der Prämisse einer Autonomie bei der Ernährungs- und Materialversorgung Österreichs biophysisch machbar wäre. Es sagt noch nichts darüber aus, inwieweit eine solche Entwicklung wahrscheinlich ist, da dies innerhalb des biophysisch Möglichen von gesellschaftlichen Strukturen und der daraus entstehenden Dynamik abhängt. Wie das oben erwähnte Beispiel der neu eingeweihten Produktionsanlage für Polyethylen in Brasilien demonstriert, spricht unter momentanen Bedingungen viel dafür, dass Produktionsanlagen von speziell auf **Basis von Ethanol** erzeugte Materialien in erster Linie dort entstehen, wo der Grundstoff billig produzierbar ist und dies ist heute vor allem **Brasilien**. Umgekehrt entstehen **in Europa** heute vor allem Anlagen, die **Stärke (für Stärkekunststoffe)** oder speziell **in Österreich Holz (für Cellulosefasern)** als Ressourcengrundlage nutzen, da diese Form der Biomasse auch in hiesigen Regionen relativ billig erzeugt werden kann.

Die zentralen Aussagen der Analyse der Möglichkeit einer **Ernährungs- und Stoffautonomie** sind:

- (1) Bei konstanten Flächenerträgen können stofflich genutzte Nawaros die fossilen Stoffe nur ersetzen, wenn der Materialverbrauch konstant bleibt und die Recyclingrate äußerst hoch ist.
- (2) Die Hälfte des heutigen Materialverbrauchs könnte auch mit geringeren Recyclingraten inländisch durch Biomasse gedeckt werden.
- (3) Biologische Landwirtschaft kann vermutlich auch dies nicht erreichen.
- (4) Der für die Stickstoffdüngerproduktion benötigte erneuerbar produzierte Strom würde ca. 15% des derzeitigen Stickstoffverbrauchs ausmachen.
- (5) Alternative Materialien (Holz, Hanf) und eine Nutzung überschüssigen Stroms zur Wasserstoffproduktion (für N-Dünger) scheinen sinnvoll.

7.5 Ernährungs-, Stoff- und Energieautonomie bis 2050

Im Folgenden wird zunächst ein Szenario „Energieautonomie 2050“ für Österreich beschrieben und dessen Auswirkungen auf die Nutzung agrarischer Flächen und den forstlichen Biomassebedarf werden dargestellt. Danach wird dieses Szenario mit den Ernährungs- und Stoffszenarien verschnitten und gemeinsam diskutiert. „Energieautonomie 2050“ bedeutet, dass keine fossilen Energieträger in Österreich zum Einsatz kommen und der Bedarf zur Gänze mit aus Österreich stammenden Rohstoffen (agrarische und forstliche Biomasse) und in Österreich installierten Anlagen (Wasserkraft, Windkraft, PV, Solarthermie, Geothermie) gedeckt werden soll.

7.5.1 Das Szenario „Energieautonomie 2050“

Das Szenario „Energieautonomie 2050“ ist als „Bottom-Up“ Modell aufgebaut, indem es erlaubt, die Entwicklungen in verschiedenen Energieverbrauchssektoren zu spezifizieren. Danach werden die sektoralen Ergebnisse aggregiert.

Es werden folgende Sektoren unterschieden:

- Niedertemperaturwärme (Raumheizung und Warmwasserbereitung)
- Industrie
- Verkehr
- Landwirtschaft
- Sonstiger Strombedarf (Haushalte, Dienstleistungssektor)

Der gesamte Strombedarf wird aus Teilergebnissen der Modellierung in den einzelnen Sektoren abgeleitet. Das Modell, das dem Szenario zugrundeliegt, erlaubt eine Spezifikation der Bedarfsentwicklung (im Vergleich zum Status Quo) sowie eine Aufspaltung der Deckung dieses Bedarfs auf verschiedene Energieträger bzw. Technologien. Als Status Quo des

Bedarfs bzw. Verbrauchs wurde entweder der jeweilige Wert des Jahres 2009 oder der Durchschnitt der Jahre 2008 und 2009 genommen. Quelle für die Ausgangswerte sind die „Energiebilanzen 1970-2009“ (Statistik Austria 2010).

Niedertemperaturwärme

Hier ist der Wärmebedarf zur Beheizung von Gebäuden sowie zur Warmwasserbereitung subsumiert. Der Bedarf dieses Sektors sinkt um 55% im Vergleich zum Status Quo. Diese Senkung des Bedarfs geht konform mit den „KlimAdapt“-Szenarien, in dem das von der *Energy Economics Group* entwickelte Gebäudemodell verwendet wurde (Kranzl et al. 2010).

Die Deckung des Bedarfs erfolgt in drei Technologiegruppen: (1) dezentrale Anlagen, (2) ländliche Fernwärme, (3) urbane Fernwärme. Es wird also angenommen, dass die jetzt existierenden und gegebenenfalls in Zukunft weiter ausgebauten Fernwärmennetze auch im Jahr 2050 noch – zumindest teilweise – in Betrieb sind, wenn sie auch aufgrund des verringerten Wärmebedarfs mit geringeren Wärmemengen beschickt werden.

Die eingesetzten Technologien variieren nach Technologiegruppe.

- *Dezentrale Anlagen*: verschiedene Biomasse-Heizsysteme (Pellets, Hackschnitzel, Scheitholz), Wärmepumpen, Stromdirektheizungen und Solarthermie.
- *Ländliche Fernwärme*: Hackschnitzel oder Rinde als Brennstoff, Solarthermie, Geothermie.
- *Urbane Fernwärme*: Biomethan, Holzpellets, Abfälle, Geothermie, Solarthermie. Ein Teil des Brennstoffeinsatzes in städtischen Fernwärmennetzen wird zur gekoppelten Wärme- und Stromproduktion verwendet (jetzt mit Erdgas als Brennstoff, 2050 mit Biomethan oder Holzpellets). Der Fokus der Stromproduktion aus biogenen Rohstoffen liegt allerdings darin, Ausgleichsenergie zur Verfügung zu stellen (siehe auch unter „Stromerzeugungsmix“).

Tabelle 1: Aufteilung der Deckung des Niedertemperaturwärmebedarfs auf verschiedene Technologien / Energieträger im „Energieautonomie 2050“ Szenario

Aufteilung Niedertemperaturwärme				
Dezentral	Fernwärme ländlich		Fernwärme urban	
Gesamtbedarf (PJ)	Gesamtbedarf (PJ)		Gesamtbedarf (PJ)	
115,91	11,59		25,36	
Anteile	Anteile		Anteile	
Holzpellets	31%	Hackschnitzel / Rinde	78%	Holzpellets 29%
Hackschnitzel	8%	Geothermie	9%	Biomethan 29%
Scheitholz	12%	Solarthermie	13%	Geothermie 14%
Umgebungs-wärme (WP)	23%			Solarthermie 12%
Strom direkt	4%			Brennbare Abfälle 16%
Solarthermie	22%			

Industrie

Die industrielle Produktion sinkt um 30% im Vergleich zum Status Quo², die Energieeffizienz steigt um 25%, insgesamt sinkt dadurch der gesamte Energiebedarf der Industrie auf 53% des Ausgangswertes. Der Energiebedarf der Industrie (v.a. Prozesswärme und Standmotoren) wird zum Großteil durch Strom gedeckt: 70% Strom, 20% Forstliche Biomasse, 10% Biomethan.

Verkehr

Die größten Änderungen im Vergleich zum Status Quo finden im Verkehrssektor statt. Der motorisierte Verkehr (sowohl PKW als auch Nicht-PKW, d.h. LKW, Klein-LKW, Lieferwagen, Busse etc.) schrumpft auf 20% seines Ausgangsvolumens. Der verbleibende PKW-Verkehr findet mit Elektroautos statt, der Nicht-PKW-Verkehr auf Basis biogener Treibstoffe (50% Biodiesel und Pflanzenöl, 20% Biomethan aus agrarischen Rohstoffen – Mais-/Grassilage –, 30% SNG aus Reststoffen und forstlicher Biomasse). Es findet eine Umschichtung sowohl des Personen- als auch des Güterverkehrs auf die Schiene statt. Durch diese Steigerung im Schienenverkehr wächst der Strombedarf im Schienenverkehr um den Faktor 2,5.³

Landwirtschaft

Der Treibstoffbedarf für die Landwirtschaft bleibt im Vergleich zum Status Quo unverändert. Analog zum Nicht-PKW-Verkehr kommen biogene Treibstoffe (Biodiesel, Pflanzenöl, Biomethan) zum Einsatz.

² Es wird hierbei unterstellt, dass die Produktion aufgrund nachhaltigerer Konsummuster (weniger Konsum, langlebigere Konsumgüter) sinkt. Nicht berücksichtigt ist hier eine eventuelle Substitution importierter Güter durch inländische Produktion.

³ In der momentanen Version des „Energieautonomie 2050“ Szenarios ist der Ersatz von Flugbenzin durch biogenen Treibstoff nicht berücksichtigt – dies kann auch als Schrumpfen des Flugverkehrs auf Null gedeutet werden.

Sonstiger Strombedarf

Es verbleiben noch der Strombedarf der Haushalte und des Dienstleistungssektors, um die Energieverbrauchssektoren zu komplettieren. In diesen Bedarfswerten sind Strombedarf für Heizen und Warmwasser nicht enthalten, diese sind im Sektor „Niedertemperaturwärme“ erfasst. Die Anzahl der Haushalte wächst um 20% bis 2050, der Strombedarf pro Haushalt sinkt von zur Zeit knapp 3.000 kWh (ohne Heizen und Warmwasser) auf 2.500 kWh. Der Strombedarf des Dienstleistungssektors sinkt um 20%. Der Strombedarf für Elektromobilität ist dem Sektor Verkehr zugeordnet.

Stromerzeugungsmix

Der Stromerzeugungsmix setzt sich aus Wasserkraft, Windkraft, Photovoltaik und Stromerzeugung aus biogenen Energieträgern zusammen. Die Stromerzeugung auf Basis biogener Energieträger stellt in erster Linie die wichtige Ausgleichsenergie zur Verfügung, einerseits um kurzfristige Angebotsschwankungen v.a. bei Windenergie und Photovoltaik, andererseits um im Winterhalbjahr das geringere saisonale Solarstrahlungsangebot auszugleichen. Es wird angenommen, dass biogene Ausgleichsenergie im Ausmaß von 10% der gesamten Stromerzeugung zur Verfügung stehen soll.

Angenommen wurde folgender Stromerzeugungsmix: Wasserkraft 60%, Wind 22%, Photovoltaik 8%, Biomasse 10%. Die biogene Stromerzeugung basiert auf Biomethan (40%), Biogas (20%) und forstlicher Biomasse, v.a. Hackschnitzel, Rinde (40%).⁴

Wachstum nicht-biogener Erneuerbarer

Tabelle 2 zeigt die Entwicklung der Energieproduktion durch erneuerbare Energietechnologien auf Basis eigener Annahmen.

Tabelle 2: Entwicklung der Energieproduktion durch erneuerbare Energietechnologien (ohne Bioenergie), eigene Annahmen

<i>in TJ</i>	2009	2050	Steigerung um Faktor
Windkraft	7083	59721	8,43
Photovoltaik	126	21717	172,37
Solarthermie	5144	30000	5,83
Geothermie	281	4680	16,66
Wasserkraft	140538	162877	1,16

⁴ Biomethan ist gereinigtes Biogas und kann direkt Erdgas ersetzen. Im „Energieautonomie 2050“-Szenario wird unterstellt, dass Biomethan sowohl ins Erdgasnetz eingespeist wird und in zentralen Kraftwerken Erdgas ersetzt, aber auch als Treibstoff eingesetzt wird.

7.5.2 Ergebnisse des „Energieautonomie 2050“-Szenarios

Der gesamte Strombedarf steigt um etwa 10-15% auf 75.400 GWh. Der größte Anteil des Strombedarfs liegt in der industriellen Produktion (35.400 GWh). Der gesamte Energiebedarf der Industrie sinkt zwar deutlich, der relative Anteil der Elektrizität aber steigt sehr stark. Die nächst größeren Stromverbraucher sind Haushalte (10.600 GWh), Dienstleistungssektor (9.960 GWh) und der Schienenverkehr (7.900 GWh).

Der Bedarf an holzartiger Biomasse (forstliche Biomasse, Sägenebenprodukte, Rinde und sonstiges Restholz sowie Ablauge der Papierindustrie) im Jahr 2050 liegt mit 141 PJ zwar deutlich über den Ertragspotenzialen der Szenarien mit extensiver Waldbewirtschaftung (in diesen wird ein Potenzial von 92 bzw. 109 PJ im Jahr 2050 erreicht), aber unter den Potenzialen mit intensiver Waldbewirtschaftung (160 bzw. 176 PJ).⁵

Den Bedarf an agrarischer Biomasse für energetische Zwecke zeigt Tabelle 3. Bezuglich Biomethan und Biogas wurde angenommen, dass 50% des Bedarfs (an Biomethan und Biogas) auf Ackerflächen (Maissilage) und 50% auf Grünlandflächen (Grassilage) produziert werden. Bezuglich der maximal verfügbaren Ackerflächen wurde angenommen, dass 350.000 ha Grünland- zu Ackerflächen umgewandelt wurden.

Das Resultat ist, dass im „Energieautonomie 2050“-Szenario unter den dargelegten Annahmen 37% der gesamten verfügbaren agrarischen Fläche für energetische Zwecke genutzt werden (31% des Ackerlandes, 53% des Grünlandes).

⁵ Bezuglich der Entwicklung des Holzbedarfs der holzverarbeitenden Industrien wurden ebenfalls Autarkie-Szenarien unterstellt.

Flächenbedarf Agrarische biogene Energieträger (in ha), Szenario „Energieautonomie 2050“		
<i>Biomethan</i>	Acker	156713
	Grünland	355171
<i>Biogas</i>	Acker	39133
	Grünland	88689
<i>Biodiesel/Pflanzenöl</i>		
Acker	Raps	213837
	Sonnenbl.	97117
	Summe	310954
Gesamtbedarf		
Ackerland		506801
Grünland		443860
Summe		950661
Flächenangebot		
Ackerland max.		1651490
Grünland		844004
Ges. Agrarland		2495494
Anteile		
Ackerland		30,69%
Grünland		52,59%
Gesamt		38,10%

Tabelle 3: Agrarflächenbedarf für biogene Energieträger, „Energieautonomie 2050“ Szenario, Annahme: 350.000 ha Grünland- werden zu Ackerflächen umgewandelt

7.5.3 Kombinierte Szenarien

Im Folgenden wird das oben beschriebene „Energieautonomie 2050“-Szenario mit verschiedenen Szenarien der Ernährungs- und Stoffautonomie kombiniert. Es werden nur Szenarien der kombinierten Ernährungs- und Stoffautonomie betrachtet, in denen noch ein (relevantes) Angebot an frei verfügbaren agrarischen Flächen besteht.

Es sind dies folgende Szenarien:

- (1) Szenario Ernährungsempfehlung (deutliche Reduktion Fleischkonsum) + Konsumrückgang, mittlere Recyclingrate, grasartige Biomasse bei konstanten Erträgen, ausgeglichene Handelsbilanz, intensive Waldbewirtschaftung
- (2) wie Szenario 1, aber hohe Recyclingrate
- (3) wie Szenario 1, aber vegane Ernährung und konstanter Konsum
- (4) wie Szenario 3, aber steigender Konsum

Tabelle 4: Flächenbilanzen für verschiedene kombinierte Ernährungs-/Stoff-/Energieautonomieszenarien

Flächen-Über/Unterschreitung		Szenario			
		1	2	3	4
Ackerland		0,98	0,98	0,89	0,96
Grünland		1,82	1,79	0,94	1,52
Summe		1,27	1,25	0,91	1,15

Unter der Annahme, dass die Ernährung gemäß Ernährungsempfehlung erfolgt (Szenarien 1 und 2), reichen die verfügbaren agrarischen Flächen in den kombinierten Szenarien nicht aus (1,27 bedeutet Überschreitung des Flächenangebots um 27%), obwohl bezüglich stofflicher Nutzung ansonsten sehr restriktive/ambitionierte Annahmen gelten: Konsumrückgang um 50%, mittlere oder hohe Recyclingrate.

Nur unter der Annahme, dass die Ernährung vegan erfolgt (Szenario 3), wird das Flächenangebot nicht überschritten (0,91 bedeutet, dass 91% der verfügbaren Agrarfläche genutzt werden). Im Unterschied zu den Szenarien 1 und 2 kann hier sogar der Konsum konstant gehalten werden. Unter der Annahme eines steigenden Konsums (Szenario 4) wird aber auch in diesem veganen Szenario das Angebot an agrarischer Fläche überschritten. Weiters wird in diesem Szenario auch das Angebot an holzartiger Biomasse (Bedarf 201 PJ bei einem Angebot von 176 PJ im Intensivszenario) deutlich überschritten.

Die zentralen Aussagen der Analyse der Möglichkeit einer **Ernährungs-, Stoff- und Energieautonomie** sind:

- (1) Das Erreichen einer kombinierten Ernährungs-, Stoff- und Energieautonomie ist nur unter der Annahme deutlicher Reduktionen im Energiebedarf und bei veganer Ernährung möglich. Der Stoffbedarf könnte unter diesen Annahmen konstant gehalten werden.
- (2) Unter der Annahme, dass die Ernährung gemäß Ernährungsempfehlung (deutliche Reduktion des Fleischkonsums) erfolgt, kann die kombinierte Ernährungs-, Stoff- und Energieautonomie nicht erreicht werden, selbst wenn bezüglich des Stoffbedarfs sehr restriktive Annahmen getroffen werden.
- (3) Das „Energieautonomie 2050“-Szenario fußt auf deutlichen Reduktionen des Energiebedarfs, v.a. im Bereich des motorisierten Verkehrs (schrumpft um 80%), bei Raumwärme und in der Industrie. Industrielle Produktion schrumpft um 30%. Es erfolgt ein forcierter Ausbau erneuerbarer nicht-biogener Energietechnologien (Windkraft, Photovoltaik, Solarthermie, Geothermie), eine sinnvolle Nutzung biogener Rohstoffe zur Energiebereitstellung (Ausgleichsenergie im Stromsektor; Treibstoffe für Fahrzeuge, die nicht elektrisch betrieben werden können (Traktoren, LKW); Heizungsanlagen (sowohl dezentral als auch Fernwärme) und eine deutliche Umschichtung des Güter- und Personenverkehrs auf die Schiene.
- (4) In den betrachteten kombinierten Ernährungs-/Stoff-/Energieautonomieszenarien kann der Bedarf an holzartiger Biomasse gedeckt werden, falls eine intensive Waldbewirtschaftung unterstellt wird. Falls Wachstum des Stoffverbrauchs unterstellt wird, reicht das Potenzial an holzartiger Biomasse auch in den Szenarien mit intensiver Waldbewirtschaftung nicht aus.

8 Land- und Forstwirtschaft im Klimawandel

8.1 Klimaszenarien

Um die mögliche Bandbreite zukünftiger Klimaänderung realistisch abzudecken und dennoch im Rahmen „wahrscheinlicher“ Klimaänderung zu bleiben, wurden aus den derzeit aktuellsten verfügbaren regionalen Klimaszenarien für Österreich (1) ein Szenario, das als **moderat warm und trocken** und (2) eines, das als **moderat kühl und feucht** charakterisiert werden kann, ausgewählt. Alle 18 Simulationen, die im Zuge des ENSEMBLES-Projektes erstellt wurden, standen dafür zur Verfügung. ENSEMBLES ist ein integriertes EU Forschungsprojekt des sechsten Rahmenprogramms, das über den Zeitraum von 2004 bis 2009 vom *Met Office Hadley Centre* koordiniert wurde (www.ensembles-eu.org). Alle ENSEMBLES-Simulationen beruhen auf dem Emissionsszenario A1B (Nakicenovic et. al. 2000) und unterschiedlichen globalen und regionalen Klimamodellen. Ausgewählte Modelle: *ETHZ-CLM_HadCM3Q0* für den heiß-trockenen Trend (ETHZ) und *METNO-HIRHAM4_BCM* für den kalt-nassen Trend (METNO).

Diese zwei Modellergebnisse lassen einheitlich eine **Temperaturerhöhung** erwarten (sehr robust), zeigen **zunehmende Winterniederschläge** an (mäßig robust), aber lassen keine deutlichen Rückschlüsse über Niederschlagsänderungen in anderen Saisonen zu.

8.2 Landwirtschaftliche Flächennutzungspotenziale

Zur Modellierung der landwirtschaftlichen Flächennutzungspotenziale wurde ein Computerprogramm entwickelt, mit dem klimatische, pedologische und topografische Standortbedingungen den Ansprüchen wichtiger landwirtschaftlicher Kulturpflanzen gegenüberstellt und daraus Flächennutzungspotenziale für diese Pflanzen errechnet werden können. Die Potenziale geben nicht die aktuelle Nutzung wieder, sondern stellen die **Eignung einer Kulturpflanze auf einer Fläche** dar. Eine Pflanze kann in einem Gebiet oft auch aus historischen und gesellschaftlichen Gründen verstärkt angebaut werden. In diesen Fällen weichen die Ergebnisse des Modells stark vom aktuellen Anbau ab.

Die **Pflanzenansprüche** werden anhand der Datenbank *EcoCrop*, in der von der FAO erstellte Definitionen für die Ansprüche vieler verschiedener landwirtschaftlicher Kulturpflanzen enthalten sind, abgeleitet. Einige Parameter müssen mit Hilfe von Expertenwissen hinzugefügt und auf österreichische Verhältnisse bzw. auf vorhandene räumliche Standortparameter angepasst werden. Die berücksichtigten Ansprüche müssen aufgrund der vorhandenen Daten auf Temperatur, Niederschlag, Ackerwert/Grünlandwert, Gründigkeit, pH-Wert, Wasserverhältnisse und Hangneigung beschränkt werden.

Die Parameter **Temperatur und Niederschlag** werden den zwei Klimaszenarien (ETHZ und METNO) vom *Wegener Zentrum für Klima und Globalen Wandel* (Univ. Graz) in einer

Auflösung von 1.000 Meter entnommen. Die Bodenparameter Ackerwert/Grünlandwert, Gründigkeit, pH-Wert und Wasserverhältnisse entstammen der österreichischen Bodenkarte (ebod) in 500 Meter Auflösung. Die Hangneigung wurde anhand eines Digitalen Höhenmodells in einer Auflösung von 50 Meter errechnet.

In Anlehnung an die Theorie der **Fuzzy Logic** werden Zugehörigkeitsfunktionen definiert und die Ansprüche als Trapezfunktion formuliert. Eine Eignung einer Pflanze in Bezug auf einen Standortparameter wird mit dieser Funktion zwischen dem Wertebereich 0 und 1 ausgedrückt, wobei 0...kein Potenzial und 1...hohes Potenzial bedeutet. Die verwendete Trapezfunktion wird durch vier Werte beschrieben – die Ober- und Untergrenzen eines Absolut- und eines Optimalbereiches (siehe Abbildung 22). Auf der x-Achse ist jeweils der Wertebereich eines Standortparameters aufgetragen (z.B. Niederschlagssumme).

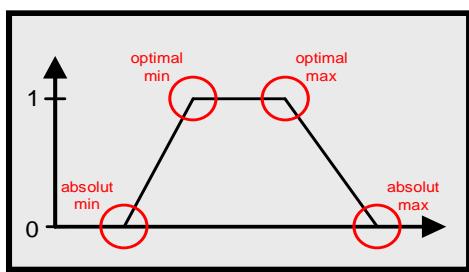


Abbildung 22: Zugehörigkeitsfunktion – Eignung einer Kulturart hinsichtlich eines Standortparameters

Die Auflösung der erzielten Flächennutzungspotenziale hängt von der Auflösung der Ausgangsdaten, der Standortparameter, ab. Diese standen in Form von Rasterdaten nur in einer Auflösung bis 500 x 500 Meter zur Verfügung, wodurch Ergebnisse bis zu dieser räumlichen Auflösung erzielt werden konnten.

8.2.1 Räumliche Simulation von Produktions- und Bedarfsszenarien

Mit den ermittelten **Flächennutzungspotenzialen für einzelne Kulturarten** können verschiedene Bedarfsszenarien für Österreich simuliert werden. Dafür ist ein Algorithmus notwendig, der anhand der Szenarien geeignete Flächen (Pixel) einzelnen Kulturarten zuteilt.

Eine Kulturart kann **vier verschiedenen Verwendungszwecken** (Nahrungsmittel, Futtermittel, stoffliche Nutzung, Energie) zugewiesen werden. Die Verwendungszwecke können nach Prioritätsstufen gereiht werden, z.B. Nahrungsmittel Priorität 1, Futtermittel Priorität 2, Energie Priorität 3, stoffliche Nutzung Priorität 4. Durch unterschiedliche Prioritätszuordnungen können Konfliktintensitäten herausgearbeitet werden.

Mit dem entwickelten Flächenzuteilungs-Algorithmus wird innerhalb einer Prioritätsstufe für das aktuelle Pixel jene Kulturart ausgewählt, bei der der Ist-Ertrag (bereits zugewiesene Fläche) am weitesten (relativ) vom Soll-Ertrag entfernt ist. Die Reihenfolge des Abtastens der Pixel ist zufallsgesteuert, damit die Entscheidung, welches Pixel wie genutzt werden soll, räumlich gleichmäßig verteilt ist.

Für die Berechnungen werden hinsichtlich Temperatur und Niederschlag jeweils Mittelwerte für die Zeiträume 2001-2005, 2006-2010, 2011-2020, 2021-2030, 2031-2040 und 2041-2050 herangezogen. Für die Mittelwertbildung über die Zeiträume wird beim Niederschlag die durchschnittliche jährliche Niederschlagssumme und bei der Temperatur die Durchschnittstemperatur der Vegetationsperiode verwendet.

Bei der Zuteilung von Kulturarten zu Flächen wird versucht, die **Fruchfolge** zu berücksichtigen. Der Anbau für Getreidepflanzen und andere (z.B. Kartoffel) auf einer Fläche über einen betrachteten Zeitraum wurde mit höchstens 75% angenommen. Solange im Laufe der Berechnungen Bedarf nach Leguminosen u.a. besteht, wird für jedes mit Getreidepflanzen zugeteilte Pixel 25% Leguminosen u.a. zugewiesen bzw. doppelt belegt. Bei dem Szenario, welches eine biologische Wirtschaftsweise simuliert, wird dieser Prozentsatz für Getreidepflanzen u.a. auf 55% und für Leguminosen auf 45% verändert.

Als Input für die Berechnungen lieferte ein eigenes Arbeitspaket innerhalb des Projekts die Höhe der Bedarfe bzw. die Soll-Erträge für die unterschiedlichen **hypothetischen „Autonomie“-Szenarien**. Die Höhe der Flächenerträge (pro Hektar) der verschiedenen Kulturarten wird aufgrund aktueller statistischer Daten festgelegt und Szenarien für deren zukünftige Entwicklung werden erarbeitet. Dabei wird eine Unterscheidung in „Steigend“, „Konstant“, und „Biologisch“ vorgenommen, welche je nach Szenario in die Berechnungen eingeht.

8.2.2 Ergebnisse

Die Flächennutzungspotenziale und die Simulation der Bedarfsszenarien werden für alle ausgewählten Zeiträume sowie für beide Klimaszenarien (heiß-trocken, kalt-feucht) berechnet. Die kartografische Darstellung der Ergebnisse wird mittels Programmierung (VBA in ArcMap) automatisiert.

Im Folgenden werden **exemplarisch einige Karten dargestellt** und interpretiert:

Als erstes wird das Flächennutzungspotenzial für Raps und Rübsen für den Zeitraum 2001-2010, Klimaszenario ETHZ, in Abbildung 23 dargestellt. Optimale Potenziale werden gut ersichtlich (dunkelgrün) dargestellt. Ein Anbau kann auch noch bei niedrigeren Potenzialen (gelb-orange) möglich und sinnvoll sein. Eine Festlegung einer unteren Grenze ist schwierig und hängt auch davon ab, wie streng die Pflanzenansprüche abgegrenzt sind. Eine Anpassung der Pflanzenansprüche wird mit Hilfe von Expertenwissen vorgenommen und mit verfügbaren aktuellen Anbaudaten verglichen.

Bei dem Vergleich der beiden Klimaszenarien sind nur geringe Unterschiede erkennbar. Nur in Gebieten, in denen die Temperatur oder der Niederschlag obere oder untere Grenzwerte erreichen, werden Unterschiede deutlicher. Die Differenzen der Flächennutzungspotenziale sind grundsätzlich vernachlässigbar und somit spielt die Unterscheidung in Klimaszenarien bei der Simulation der Bedarfsszenarien keine sehr große Rolle. Die Veränderung der

Potenzielle bis 2050 zeigt in einem untersuchten Beispiel eine Erhöhung von nur etwa 3-4 % und fällt damit gering aus.

Raps und Rübsen - Flächennutzungspotenzial 2010

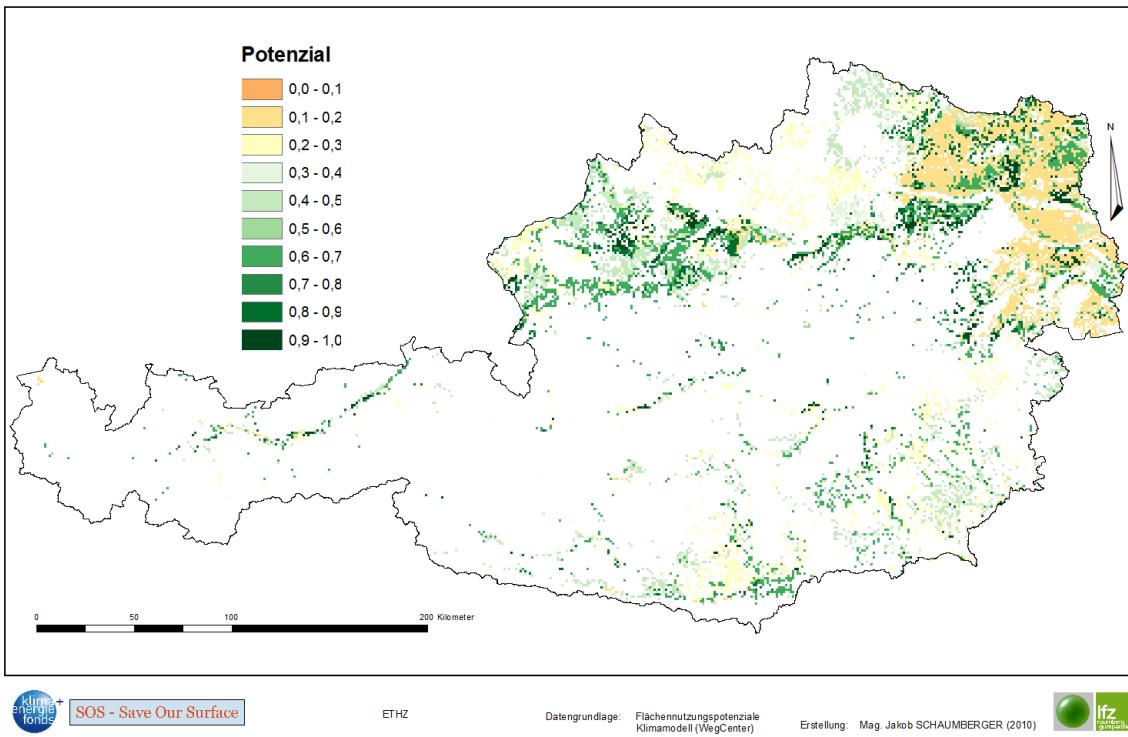


Abbildung 23: Flächennutzungspotenziale für Raps und Rübsen, 2010, ETHZ

In Abbildung 24 werden Konfliktpotenziale aufgrund der Addition aller auf einem Pixel vorhandenen Flächennutzungspotenziale identifiziert. Flächen, auf denen sich viele und hohe Potenziale überschneiden weisen ein sehr hohes Konfliktpotenzial auf (dunkelrot). In der Karte werden Konfliktpotenziale des Zeitraumes 2001-2010 und des Klimaszenarios ETHZ dargestellt. **Die Unterschiede über die Zeiträume bis 2050 und zwischen den Klimaszenarien sind gering.**

Konfliktpotenziale

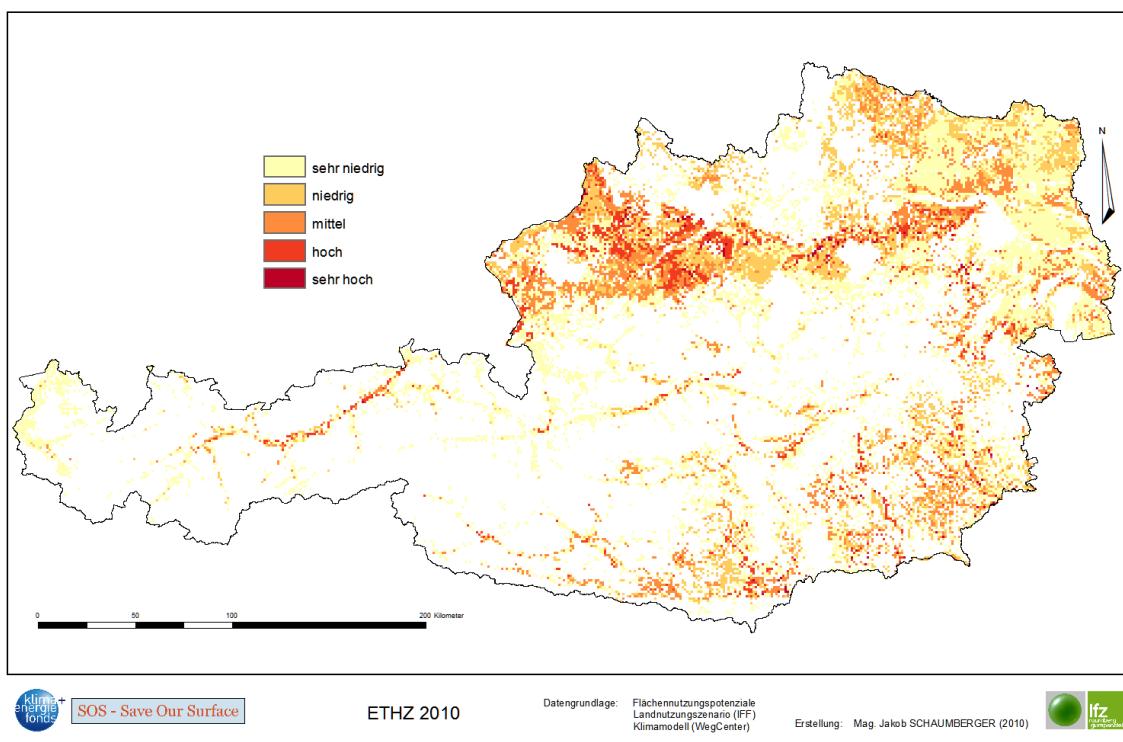


Abbildung 24: Konfliktpotenziale - Addition der Flächennutzungspotenziale, 2010, ETHZ

Mit diesen Ergebnissen kann ein erster Überblick über die Funktionsweise und die Möglichkeiten dieses in einem Computerprogramm umgesetzten Modells gegeben werden. Eine Berechnung der räumlichen Eigenschaften verschiedener Bedarfsszenarien ist mit diesem Programm realisierbar.

Die zentrale Aussage der Analyse der **landwirtschaftlichen Flächennutzungspotenziale in Österreich bis 2050** ist:

Die verwendeten Klimaszenarien für Österreich bis 2050 zeigen nur einen geringen Einfluss auf die landwirtschaftlichen Flächennutzungspotenziale.

8.3 Forstwirtschaftliche Potenziale

8.3.1 Die verwendeten Modelle

Das verwendete Modell PICUS 3G ist ein Submodul des Waldökosystemmodells PICUS 1.4. PICUS 3G entspricht dem physiologischen Produktionsmodul des Gesamtmodells. Effekte der Bestandesstruktur sowie daraus entstehende Feedbackprozesse auf die Primärproduktion werden nicht berücksichtigt. Die Entwicklung der Biomasse-Pools im Wald sowie die bereitstellbare Holzmenge in Abhängigkeit von Bewirtschaftungsszenarien zu prognostizieren ist das Aufgabengebiet des globalen Waldmodells G4M.

Die Verknüpfung der beiden Modelle erfolgt über die potenzielle Nettoprimärproduktion im Alter von 50 Jahren (NPPpot). Diese NPPpot wurde mit PICUS 3G für jeden Trakt der Österreichischen Waldinventur (ÖWI) für sechs Hauptbaumarten jährlich für den Zeitraum 2001-2050 simuliert. Bei den sechs Hauptbaumarten handelt es sich um Fichte (*Picea abies*), Tanne (*Abies alba*), Lärche (*Larix decidua*), Weisskiefer (*Pinus sylvestris*), Buche (*Fagus sylvatica*) und Stieleiche (*Quercus robur*).

8.3.2 Ausgangsdaten und Bewirtschaftungsszenarien

Die für die Simulation benötigten Klimadaten wurden von den **zwei kontrastierenden Klimaänderungsszenarien**, die auf den Klimamodellen ETHZ und METNO basieren, verwendet. Für vergleichende Analysen wurde neben den beiden Klimaänderungsszenarien ein Referenzklimadatensatz ohne Klimawandel verwendet, der auf den trendbereinigten Daten der Messperiode 1961-1990 beruht.⁶

Um die Bandbreite an möglichen Auswirkungen auf die Nutzungspotenziale durch verschiedene Bewirtschaftungsweisen abzudecken, wurden zwei kontrastierende Managementszenarien simuliert. Es handelt sich (1) um ein Szenario mit **intensiver forstlicher Nutzung** und (2) um ein **extensiveres Bewirtschaftungsszenario**, welches sich an den Empfehlungen für nachhaltige Forstwirtschaft aus dem „Österreichischen Walddialog“ (ÖWAD 2009) bzw. an der Studie „Potenziale der Biomassenutzung aus dem Österreichischen Wald unter Berücksichtigung der Biodiversität“ von WWF und Österreichische Bundesforste (WWF 2006) orientiert. Im Folgenden werden die beiden Managementszenarien charakterisiert:

⁶ Als notwendige Bodeninformation sind die pflanzenverfügbare Stickstoffmenge, der pH Wert des obersten Mineralbodenhorizontes sowie die nutzbare Wasserspeicherkapazität notwendig. Die Daten hierfür sind ebenfalls auf Traktebene der Österreichischen Waldinventur vorhanden und wurden aus einer Bodendatenbank basierend auf Seidl et al. (2009) entnommen.

(A) Intensivszenario

- Die aktuelle Baumartenverteilung wird beibehalten.

Es kommt zu keinem Baumartenwechsel

- Die Umtriebszeit wird so gewählt, dass der Zuwachs maximal ist
- „mögliche“ Ast- und Blattbiomassenutzungen werden durchgeführt

Von Englisch et Reiter (2009) gibt es in Abhängigkeit vom Standort Empfehlungen, in welchem Maß Vollbaumnutzungen „möglich“ sind, „problematisch“ sind oder „unterbleiben sollen“. Vollbaumnutzung bedeutet, dass unter anderem auch Äste und Blätter entnommen werden. Diese Entnahmen wirken sich in vielen Fällen negativ auf die nachhaltige Nährstoffversorgung aus.

(B) Extensivszenario

- Die Baumartenverteilung wird verändert → „Ökologisierung“

Fichtenbestände in Tieflagen (unter 700m) werden in Buchen- bzw. Eichenbestände umgewandelt. Im sommerwarmen Osten werden Fichten durch Eichen, in allen anderen Regionen durch Buchen ersetzt.

- Die Umtriebszeit wird grundsätzlich so gewählt, dass der Zuwachs maximal ist
- Umtriebszeitverlängerung

In hohen unproduktiven Lagen (über 1.000m Seehöhe) wird die Umtriebszeit auf 120 Jahre festgesetzt (falls sie nicht sowieso über 120 Jahre beträgt).

- Nicht wirtschaftliche Flächen werden nicht genutzt

Annahme dazu: Auf 25% des Seilgeländes wird die Nutzung eingestellt

- keine Ast- und Blattbiomassenutzungen
- Totholz im Wald wird forciert⁷

8.3.3 Ergebnisse

Wie in Abbildung 21 ersichtlich, bewegen sich die Nutzungspotenziale im **intensiven** Bewirtschaftungsszenario (A) zwischen **11 und 14 Millionen Tonnen Holzbiomasse** für den gesamten österreichischen Ertragswald. Im Vergleich zum Basisklima sind die Potenziale in

⁷ Einerseits fällt auf den Flächen, die von einer Nutzungseinstellung betroffen sind, Totholz an. Andererseits wird auf den restlichen Flächen den Empfehlungen von Korpel (1997) entsprochen, der einen Totholzanteil in Wirtschaftswäldern von in etwa 10% des stehenden Vorrats empfiehlt. In der Berechnung wird diese Empfehlung mit Hilfe der Information über den simulierten Vorrat und durchschnittliche Zersetzungzeiträume von Totholz (aus Literaturdaten) umgesetzt.

beiden Klimaänderungsszenarien höher, wobei über den gesamten Analysezeitraum die Steigerungen im METNO-Szenario (kalt-nasser Trend) deutlicher ausfallen. Generell zeigt sich, dass die Unterschiede zwischen Basisklima und Klimaänderungsszenarien gegen Ende des Simulationszeitraumes geringer werden. Dies gilt auch für das **extensive** Bewirtschaftungsszenario (Abbildung 22). Hier schwanken die simulierten Nutzungspotenziale zwischen **7 und 9 Millionen Tonnen Holzbiomasse**.

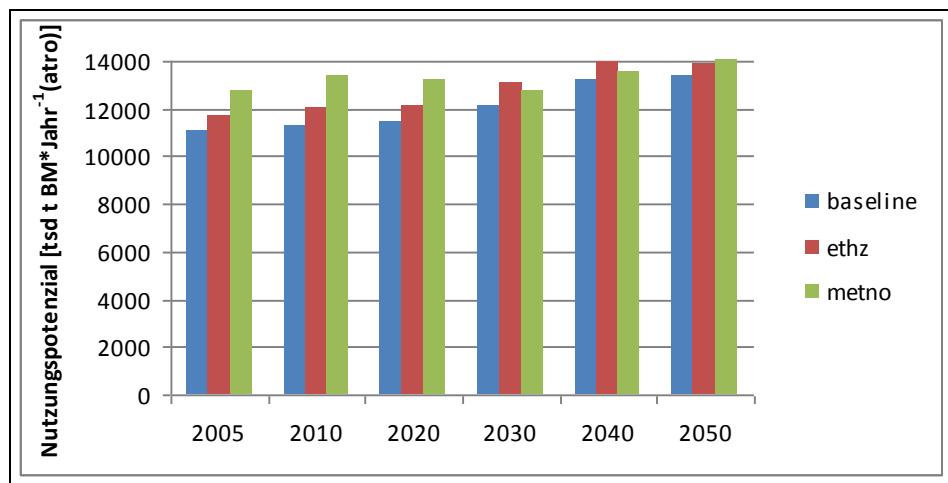


Abbildung 25: Simulierte jährliche Nutzungspotenziale an Holzbiomasse (BM) für den österreichischen Ertragswald im Intensivszenario (A) für ein Basisklima und die beiden Klimaänderungsszenarien ETHZ und METNO. Dargestellt für sechs Perioden des Analysezeitraums.

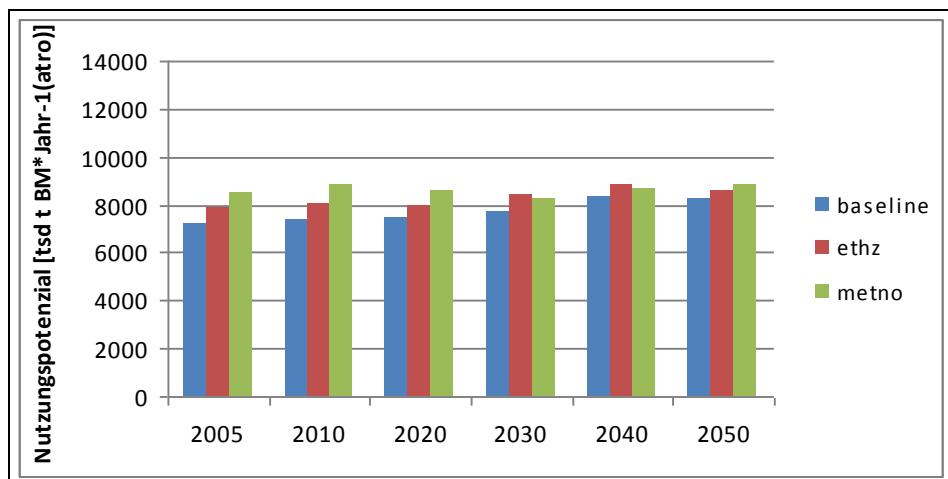


Abbildung 26: Simulierte jährliche Nutzungspotenziale an Holzbiomasse (BM) für den österreichischen Ertragswald im Extensivszenario (B) für das Basisklima und die beiden Klimaänderungsszenarien ETHZ und METNO. Dargestellt für sechs Perioden des Analysezeitraums.

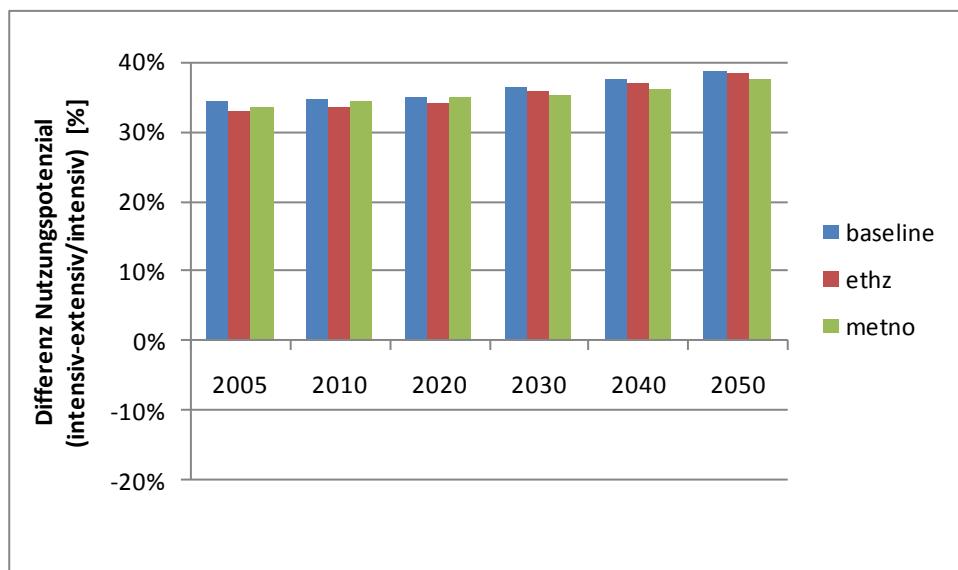


Abbildung 27: Simulierte Differenz von Nutzungspotenzialen an Holzbiomasse (BM) zwischen dem Intensiv- (A) und Extensivszenario (B). Dargestellt ist die Differenz (intensiv-extensiv) in Relation zum Nutzungspotential aus dem Intensivszenario getrennt für das Basisklima und die beiden Klimaänderungsszenarien ETHZ und METNO.

Die Nutzungspotenziale an Holzbiomasse liegen im Extensivszenario in etwa ein Drittel unter denen des Intensivszenarios. Generell ist über das Basisklima und die beiden Klimaänderungsszenarien hinweg ein leichter Anstieg der Differenz zwischen den Nutzungspotenzialen im Intensiv- und Extensivszenario über die Zeit zu beobachten. Ein möglicher Grund hierfür ist der kontinuierliche Wechsel von Fichte auf die tendenziell ertragsschwächeren Baumarten Buche bzw. Eiche. Zwischen dem Basisklima und den Klimaänderungsszenarien sind die Differenzen relativ gering. Generell zeigt sich, dass die durch die Bewirtschaftungsweise hervorgerufenen Veränderungen größer sind als die Veränderungen aufgrund des Klimas.

Die zentralen Aussage der Analyse der **forstwirtschaftlichen Potenziale in Österreich bis 2050** ist:

- (1) Die verwendeten Klimaszenarien für Österreich bis 2050 zeigen nur einen geringen Einfluss auf die forstwirtschaftlichen Flächennutzungspotenziale.
- (2) Die durch die Bewirtschaftungsweise (intensiv versus extensiv) hervorgerufenen Veränderungen sind bedeutsamer als die modellierten Klimaveränderungen

8.4 Autonomieszenarien der österreichischen Holzmärkte

Basierend auf den Ergebnissen der forstwirtschaftlichen Potenzialanalyse wurden **Autonomieszenarien der österreichischen Holzmärkte** entwickelt. Ausgehend von der derzeitigen Struktur der stofflichen und energetischen Holznutzung (Abbildung 28 gibt einen Überblick über Aufkommensmengen, Außenhandel und Verwertungsschienen im Jahr 2008) wurden vier Autonomieszenarien (A1 bis A4) erstellt, die sich hinsichtlich folgender Parameter unterscheiden:

- Waldbewirtschaftung: intensiv (Szenario A1 und A3) oder extensiv (A2 und A4)
- Verbrauchsniveau bei Schnittholz, Platten und Papier (bei A1 und A2 konstant auf dem Niveau des Jahres 2008, bei A3 und A4 erhöht bzw. reduziert)
- Recyclingquote bei Papier (bei A1, A2 und A3 konstant bei 65%, bei A4 mit 90% angenommen)

Für alle Szenarien ist unterstellt, dass die in Abbildung 28 dargestellten Außenhandelsströme mit bis 2050 auf Null sinken. Aufgrund der derzeit stark exportorientierten Produktion der Holz verarbeitenden Industrien kommt es in sämtlichen Autarkie-Szenarien zu einem starken Rückgang der inländischen Produktion von Holzprodukten. Bei den Szenarien mit intensiver Waldbewirtschaftung liegt das Aufkommen an Industrieholz deutlich über dem Bedarf der Säge-, Papier- und Plattenindustrie, sodass signifikante Mengen einer energetischen Nutzung zugeführt werden. Da mit der reduzierten Produktion der Säge- und Papierindustrie jedoch auch die zur Energieerzeugung nutzbaren Mengen an SNP bzw. Ablauge sinken und sich der Rückgang der Rohholzimporte deutlich in den energetisch nutzbaren Mengen niederschlägt, liegen diese in jenen Szenarien nur geringfügig über der energetischen Nutzung im Jahr 2008.

Szenario A1 zeigt, dass das **derzeitige Verbrauchsniveau bei Schnittholz, Platten und Papier** unter der Voraussetzung einer **intensiven Waldbewirtschaftung ohne Rohholzimporte** in Österreich **problemlos** aufrechterhalten werden kann. Die energetisch nutzbaren Potenziale steigen in diesem Szenario sogar um etwa 25%. Auch bei extensiver Waldbewirtschaftung (Szenario A2) kann der Bedarf an Holzprodukten gedeckt werden, das energetisch nutzbare Potenzial sinkt jedoch gegenüber Szenario A1 um fast 50%. Szenario A3 zeigt, dass bei intensiver Waldbewirtschaftung eine Erhöhung der stofflichen Holznutzung (Schnittholz und Platten) um 50% möglich ist, die lediglich eine Reduktion der energetisch nutzbaren Potenziale um etwa 10% zufolge hätte. Bei einer Reduktion des Verbrauchsniveaus bei Holzprodukten um 25% (Schnittholz, Platten und Papier) und einer Steigerung der Papier-Recyclingquote auf 90% könnte die energetisch nutzbare Holzmenge gegenüber Szenario A2 (d.h. bei extensiver Waldbewirtschaftung) um ca. 25% gesteigert werden.

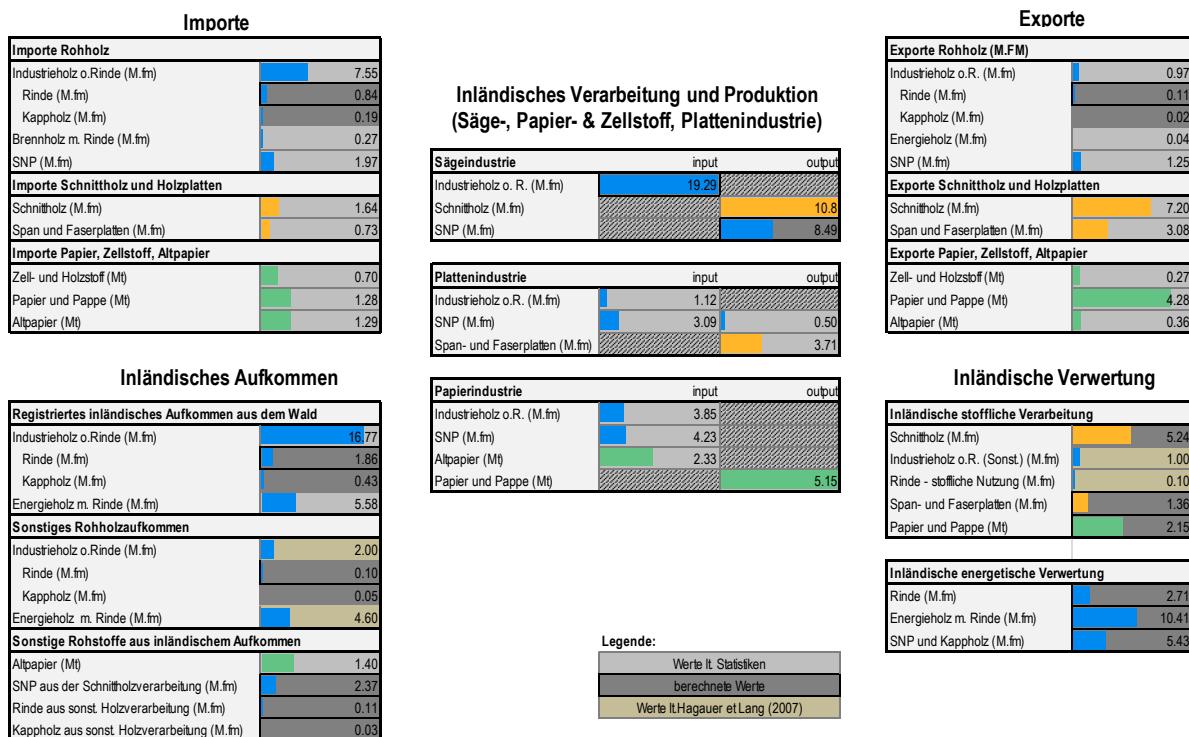


Abbildung 28: Darstellung der österreichischen Handels- und Verwertungsströme von Holz und Holzprodukten im Jahr 2008 (eigene Darstellung auf Basis von FAOSTAT 2010, Plattenindustrie 2010, Schmied 2009, Austropapier 2010, Statistik Austria 2010a sowie Hagauer et Lang 2007; Bestandsveränderungen bzw. Lagerhaltung nicht berücksichtigt)

Die zentralen Aussagen der **Szenarien der Holzmärkte** sind:

- (1) Der derzeitige stoffliche Holzverbrauch Österreichs (Schnittholz, Papier und Platten) könnte selbst bei extensiver Waldbewirtschaftung ohne Holzimporte aufrechterhalten werden.
- (2) Bei den energetisch nutzbaren, auf forstlichen Ressourcen basierenden Biomassepotenzialen kommt in den Autonomieszenarien je nach Art der Waldbewirtschaftung bzw. Trends bei der stofflichen Holznutzung zu einem Anstieg oder einer deutlichen Reduktion.

9 Literatur

- bin Abdullah A.A.A.S. (2007): Abdullah bin Abdul Aziz Al Saud, zitiert in the Christian Science Monitor, siehe <http://www.csmonitor.com/2007/0815/p09s02-coop.html> (April 2010)
- Ariwodo I., AL-Belowi A. R., BinNasser R.H., Kuchinski R.S., Zainaddin I. (2010): Leveraging Slim Hole Logging Tools in the Economic Development of the Ghawar Fields. Abu Dhabi International Petroleum Exhibition and Conference, 1-4 November 2010, Abu Dhabi, UAE, DOI 10.2118/137664-MS
<http://www.onepetro.org/mslib/app/Preview.do?paperNumber=SPE-137664-MS&societyCode=SPE> (Dez. 2010)
- Austropapier (2010): Statistik – Rohstoffe, <http://www.austropapier.at/index.php?id=81>, Zugriff im August 2010
- Bauen A., Berndes G., Junginger M., Londo M., Vuille F., Ball R., Bole T., Chudziak C., Faaij A., Mozaffarian H. (2010): Bioenergy – A sustainable and reliable energy source, A review of status and prospects, IEA Bioenergy
- de Wit M., Faaij A. (2008): Biomass Resources Potential and Related costs. Assessment of the EU-27, Switzerland, Norway and Ukraine, REFUEL work package 3 final report , Utrecht University, Copernicus Institute Utrecht
- Doornbosch R., Steenblik R. (2007): Biofuels: Is the Cure Worse than the Disease? Background Paper for the OECD Round Table on Sustainable Development, Paris, 11–12 September 2007
- Dornburg V., Faaij A., Langeveld H., van de Ven G., Wester F., van Keulen H., van Diepen K., Ros J., van Vuuren D., van den Born G.J., van Oorschot M., Smout F., Aiking H., Londo M., Mozaffarian H., Smekens K., Meeusen M., Banse M., Lysen E. and van Egmond S. (2008): Biomass assessment: Assessment of global biomass potentials and their links to food, water, biodiversity, energy demand and economy. Report 500102 012
- EEA (2006): T. Wiesenthal, A. Mourelatou, J.-E. Peterson, European Environment Agency, P. Taylor, AEA Technology, How much bioenergy can Europe produce without harming the environment?, EEA Report No 7/2006; Kopenhagen
- Eisentraut A. (2010): Sustainable Production of Second-Generation Biofuels. Potential and perspectives in major economies and developing countries, IEA-Information Paper, Paris
- Ericsson K., Nilsson L. J. (2006): Assessment of the potential biomass supply in Europe using a resource-focused approach, Biomass and Bioenergy 30(1): 1-15
- European Commission (2009): Directive 2009/28/EC of the European parliament and of the council on the promotion of the use of energy from renewable sources and amending and subsequently repealing Directives 2001/77/EC and 2003/30/EC

Eurostat (2010): Versorgung, Umwandlung, Verbrauch - erneuerbare Energien und Abfälle, <http://appss.eurostat.ec.europa.eu/nui/setupModifyTableLayout.do>, Zugriff im September 2010

Faaij A. (2008): Bioenergy and Global Food Security. Expertise für das WBGU-Hauptgutachten „Welt im Wandel: Zukunftsfähige Bioenergie und nachhaltige Landnutzung“

FAOSTAT (2010): ForesSTAT Database, <http://faostat.fao.org/site/626/default.aspx#ancor>, Zugriff im August 2010

Fischer G., Hizsnyik E., Prieler S., Shah M., van Velthuizen H. (2009): Biofuels and Food Security – Implications of an accelerated biofuels production, The OPEC Fund for International Development (OFID), Wien

Flammini A. (2008): Biofuels and the underlying causes of high food prices, GBEP-FAO, Rom.

Ganko E., Kunikowski G., Pisarek M., Rutkowska-Filipczak M., Gumeniuk A., Wróbel A. (2008): Biomass resources and potential assessment. Final report WP 5.1 of RENEW project, Warsaw

Hagauer D. et Lang B. (2007): Holzströme in Österreich 2005, Austrian Energy Agency, Klima:Aktiv Energieholz

Hoogwijk M., Faaij A., Eickhout B., de Vries B., Turkenburg W. (2005): Potential of biomass energy out to 2100, for four IPCC SRES land-use scenarios. *Biomass & Bioenergy* 29, 225–257

Husseini S.I.A. (2009): Sadad I. Al Husseini, former Vice President Saudi Aramco, in an interview given at ASPO-USA meeting 2009, see at <http://www.aspo.tv/sadad-al-husseini-peak-oil-topics.html> and <http://green.autoblog.com/2008/06/01/former-saudiaramco-executive-says-oil-reserves-claims-wrong/> (April 2010)

IEA – International Energy Agency (2007): World Energy Outlook 2007, Paris

IEA – International Energy Agency (2009): World Energy Outlook 2009, Paris

IFEU – Institut für Energie und Umweltforschung (2007): Nachwachsende Rohstoffe für die chemische Industrie: Optionen und Potenziale für die Zukunft. Heidelberg

International Energy Agency (IEA, 2009): World Energy Outlook 2009, Paris.

Kranzl Lukas, Haas Reinhard, Kalt Gerald et al. (2010): KlimAdapt. Ableitung von prioritären Maßnahmen zur Adaption des Energiesystems an den Klimawandel. Endbericht (noch nicht approbiert), Programm “Energie der Zukunft”, Wien

OECD (2009): Die OECD in Zahlen und Fakten 2009. Wirtschaft, Umwelt, Gesellschaft,, Paris

Plattenindustrie (2010): Statistik – Holzzugang Platte, <http://www.platte.at/>, Zugriff im August 2010

Prem (2010): Holzeinschlag 2009, Holzeinschlagsmeldung über das Kalenderjahr 2009, Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft (Hg.), Wien

Resch, G., Faber, T., Panzer, C., Haas, R., Ragwitz, M., Held, A. (2008): Futures-E, 20% RES by 2020 – A balanced scenario to meet Europe's renewable energy target, Intelligent Energy for Europe-Programme, Vienna

Schmied A. (2009): persönliche Auskunft durch DI Alexander Schmied, Fachverband der

Schoen J.W. (2005): OPEC says it has lost of control of oil prices, 16. März 2005, siehe <http://www.msnbc.msn.com/id/7190109/> (April 2010)

Siemons R., Vis D., van den Berg I., Mc Chesney M., Whiteley N., Nikolaou N., (2004): Bioenergy's role in the EU Energy market, a view of developments until 2020, BTG, Report, Enschede, Netherlands

Smeets E., Faaij A., Lewandowski I., Turkenburg W. (2007): A bottom-up assessment and review of global bio-energy potentials to 2050. Progress in Energy and Combustion Science 33(1): 56-106

Holzindustrie Österreichs, Wien, Oktober 2009

Statistik Austria (2010): Energiebilanzen Österreich 1970 – 2009, http://www.statistik.at/web_de/statistiken/energie_und_umwelt/energie/energiebilanzen/index.html (23.12.2010)

Thrän D., Weber M., Scheuermann A., Fröhlich N., Zeddies J., Henze A., Thoroe C., Schweinle J., Fritsche U., Jenseit W., Rausch L., Schmidt K. (2005): Nachhaltige Biomasse-nutzungsstrategien im europäischen Kontext, Leipzig

United Nations Conference on Trade and Development (UNCTAD, 2009): World Investment Report 2009. Transnational Corporations, Agricultural Production and Development, New York/Genf

UN Comtrade (2009): United Nations Commodity Trade Statistics Database (UN Comtrade database), <http://comtrade.un.org/db/>, Zugriff im September 2010

WBGU (2003): Welt im Wandel: Energiewende zur Nachhaltigkeit. Hauptgutachten 2003, Berlin, Heidelberg, New York

WBGU (2009): Wissenschaftlicher Beirat der Bundesregierung Globale Umweltveränderungen: Zukunftsfähige Bioenergie und nachhaltige Landnutzung, WBGU Berlin.