

Biomasseeinsatz und Landnutzung Österreich 1995-2020

Helmut Haberl
Fridolin Krausmann
Karl Heinz Erb
Niels Schulz
Heidi Adensam



Mai 2002

ISSN 1726-3816

Abstract

This technical report documents scenario analyses of the interrelations between biomass flows and land-use change for Austria 2020. It describes a biomass flow model used to relate assumed changes in biomass utilization to land-use patterns in Austria 2020. The model traces biomass flows in Austria from domestic extraction and import through various compartments such as biomass processing and livestock to end uses (human nutrition, use as raw material, and use for energy generation). We analyze four scenarios: (1) business as usual (TREND), (2) maximization of the utilization of biomass as raw material and for energy generation (MAX), (3) optimisation of biomass use, following the concept of a “cascade utilization of biomass” (SUST), and (4) a liberalization scenario of biomass use (GLOB). Projections of human population growth and increase in built-up land are held constant in all scenarios. We find that cropland will decrease compared to 1995 in all scenarios, even in the MAX scenario where we assume a maximization of cropland area in order to generate as much biomass as possible. Cropland area shrinks most in the GLOB scenario in which we expect a stronger growth in forest area and the abandonment of significant parts of the grasslands. Energetic use of biomass is largest in the MAX scenario and a bit lower in the SUST scenario. Even in the TREND scenario (which is still lower than SUST) we assume a considerable growth in biomass utilization for energy generation compared with 1995. We analyze environmental aspects of the 4 scenarios by calculating “net area imports” related to biomass consumption in Austria, human appropriation of net primary production (HANPP), C sinks in terrestrial vegetation, release of mineral N fertilizer and fossil energy use in cropland agriculture. The analysis of C sinks shows that reductions in CO₂ emissions obtained by substituting biomass for fossil energy might be offset by a reduction in C sinks in vegetation caused by increases in biomass use.

Vorwort

Das Forschungsprojekt „Rohstoff Landschaft“ wurde im Rahmen des Forschungsprogramms Kulturlandschaftsforschung im Auftrag des BMBWK durchgeführt. Ziel des Projektes ist es, die Auswirkungen der Nutzung nachwachsender Rohstoffe auf die Kulturlandschaft aufzuzeigen, Entwicklungsoptionen zu bewerten und Handlungsempfehlungen abzuleiten. Die Projektergebnisse werden je nach thematischem Schwerpunkt und Zielgruppe in Artikeln für wissenschaftliche Fachzeitschriften oder andere Printmedien, in Beiträgen auf Konferenzen, Themenheften und einem Folder veröffentlicht. Diese Publikationen können in Form einer CD-ROM beim Österreichischen Ökologie-Institut, Seidengasse 13, 1070 Wien, Tel. (+43-1)52361050 oder über die Homepage des Ökologie-Institutes <http://www.ecology.at> bestellt sowie über die Homepage der Abteilung Soziale Ökologie des IFF <http://www.univie.ac.at/iffsocce> heruntergeladen werden.

Das vorliegende Themenheft ist Teil der Dokumentation des Projektes Rohstoff Landschaft und richtet sich an Wissenschaftler und Experten, die sich für die Themen Biomasse-Energie, nachwachsende Rohstoffe und Landnutzung in Österreich interessieren. Es handelt sich um einen technischen Bericht, der vor allem zur Dokumentation der Annahmen, Methoden, Ergebnisse und Schlussfolgerungen für künftige Projekte dient.

Die Erstellung dieser Arbeit war nur möglich durch die inhaltliche Unterstützung durch zahlreiche Personen. Besonders danken wir den anderen Mitarbeitern des Projekts „Rohstoff Landschaft“, vor allem Dipl.-Ing. Joseph Breinesberger (Agrar Plus), Dr. Thomas Schröck, Mag. Stefan Hörler, Mag. Evelyn Walter und Mag. Astrid Krünes (Industriewissenschaftliches Institut), Mag. Susanne Geissler und Dipl.-Ing. Manfred Koblmüller (Ökologie-Institut) und Dr. Marina Ichikawa (Öko Nomia). Weiters danken wir den Mitgliedern des Steering Comitee, vor allem Dipl.-Ing. Gottfried Angerler, Dr. Karolina Begusch-Pfefferkorn, Dipl.-Ing. Hubert Janetschek, Dr. Kurt Miesenböck, Dipl.-Ing. Dr. Christian Rakos, Dr. Christian Smoliner, Univ.-Prof. Dr. Harald Wilfing und Dr. Sylvia Winther-Zouhar für Ihre Auskünfte und die rege Diskussion. Zu Dank verpflichtet sind wir auch Univ.-Prof. Dr. Reinhard Haas und Mag. Lukas Kranzl (Institut für Energiewirtschaft der TU Wien), Dr. Kurt Kratena (Wirtschaftsforschungsinstitut) und Dr. Wolfgang Bittermann (Statistik Austria).

Wien, August 2001

Inhaltsverzeichnis

Vorwort.....	2
Inhaltsverzeichnis	3
Tabellenverzeichnis	5
Verzeichnis der Abbildungen	7
AutorInnen dieses Berichts	9
1. Einleitung	10
2. Beschreibung des Biomasse-Flussmodells	14
2.1 Ziele der Modell-Entwicklung	14
2.2 Einige Biomasse- und Landnutzungs-Modelle in der Literatur	14
2.3 Funktionsweise des Modells	15
2.3.1 Grundlegende Charakteristik des Modells	15
2.3.2 Datengrundlagen	16
2.3.3 Modellstruktur	17
3. Ergebnisse der Modellrechnungen für 1970 und 1995.....	23
4. Szenarien für Österreich 2020.....	24
4.1 Allgemeine Informationen zur Szenarioanalyse.....	24
4.1.1 Ziel der Szenarioanalyse.....	24
4.1.2 Definition der Szenarien.....	24
4.1.3 Räumliche Basiseinheiten der Szenarioanalyse.....	25
4.1.4 Flächennutzung im Basisjahr 1995.....	26
4.2. Das TREND-Szenario	27
4.2.1 Siedlungs- und Verkehrsflächen, sonstige Flächen.....	28
4.2.2 Ackerland, Gartenland, Grünland, Almen und Wald.....	28
4.2.3 Fortschreibung der Flächennutzung im TREND-Szenario	31
4.2.4 Ertragsprognose.....	31
4.2.5 Verhältnis der Kulturarten am Ackerland	33
4.2.6 Umwandlungsmodul „Nutztiere“.....	34
4.2.7 Nachfragemodul „Menschliche Ernährung“	34
4.2.8 Nachfragemodul „stofflich genutzte nachwachsende Rohstoffe“.....	34
4.2.9 Nachfragemodul „energetische Nutzung von Biomasse“	35
4.2.10 Anfall von Rinde und Sägenebenprodukten im TREND-Szenario	39
4.2.11 Biomassefluss und Landnutzung für 1995/2020 im TREND-Szenario	43
4.2.12 Veränderungen der Landnutzung 1995/2020 im TREND-Szenario	43
4.3. Das MAX-Szenario.....	44
4.3.1 Abschätzung der 2020 maximal verfügbaren Ackerfläche	44
4.3.2 Annahmen zur stofflichen Nutzung von nachwachsenden Rohstoffe	45
4.3.3 Annahmen zur energetischen Biomassenutzung.....	46
4.3.4 Das MAX-Biomassefluss-Modell für 2020	51
4.3.5 Veränderungen der Landnutzung 1995/2020 im MAX-Szenario	52
4.4. Das SUST-Szenario	54
4.4.1 Annahmen zur stofflichen Nutzung von nachwachsenden Rohstoffen	54

ROLAND
Themenheft "Biomasseeinsatz und Landnutzung"

4.4.2	Annahmen zur energetischen Biomassenutzung	54
4.4.3	Das SUST-Biomasseflussmodell für 2020	58
4.4.4	Die Landnutzung im SUST-Szenario	58
4.5	Das GLOB-Szenario	59
4.5.1	Annahmen zur stofflichen Nutzung von nachwachsenden Rohstoffen	59
4.5.2	Annahmen zur energetischen Biomassenutzung	59
4.5.3	Annahmen zu den Veränderungen der Acker- und Grünlandflächen.....	60
4.5.4	Annahmen über die Erträge	61
4.5.5	Annahmen für den Bereich Nutztiere	62
4.5.6	Das GLOB-Biomasseflussmodell für 2020	62
4.5.7	Veränderungen der Landnutzung 1995/2020 im GLOB-Szenario.....	62
4.6	Vergleich der Szenarien.....	64
4.6.1	Energetische Nutzung von Biomasse	64
4.6.2	Stoffliche Nutzung von landwirtschaftlicher Biomasse	66
4.6.3	Landnutzung	67
5.	Indikatoren	74
5.1	Nettoimporte.....	74
5.2	HANPP	76
5.2.1	Definition und Aussage des Indikators.....	76
5.2.2	Methode	76
5.2.3	Ergebnisse	78
5.3.	Kohlenstoff-Senke der oberirdischen Vegetation.....	79
5.3.1	Aussage des Indikators.....	79
5.3.2	Methode	79
5.3.3.	Ergebnisse	82
5.4	Ausbringung von mineralischem Stickstoff	84
5.4.1	Aussage des Indikators.....	84
5.4.2	Methode	85
5.4.3.	Ergebnis	87
5.5.	Fossilenergie-Input im Ackerbau.....	89
5.5.1	Aussage	89
5.5.2	Methode	89
5.5.3	Ergebnisse	90
5.6	Schlussfolgerungen aus der Indikator-Analyse.....	92
Literatur	94

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1. Aggregation der ca. 40 Kulturarten und Feldfrüchte der Bodennutzungserhebung zu 15 Landnutzungsaggregaten.	20
Tabelle 2: Verknüpfung der berücksichtigten agrarischer Rohstoffe mit Produkten und Kuppelprodukten im Verarbeitungssektor	21
Tabelle 3. Aggregiertes Ergebnis der Flächenprognose im TREND-Szenario	31
Tabelle 4. Ertragsprognosen für die 15 Landnutzungsaggregate im TREND- und im MAX-Szenario .	33
Tabelle 5. Zunahme der Nachfrage nach nachwachsenden Rohstoffen vom Ackerland	35
Tabelle 6. Annahmen über die Nachfrage nach biogenen Energieträgern im Jahr 2000 und im Jahr 2020 in PJ (Heizwert H_U)	36
Tabelle 7. Abschätzung der Deckung der energetischen Nachfrage nach Biomasse 2000 und 2020, Heizwert (H_U)	37
Tabelle 8. Biogener Anteil im Endenergieeinsatz und Umwandlungseinsatz gemäß modifiziertem WIFO-Baselineszenario im TREND-Szenario 2020, Heizwerte [H_U].	38
Tabelle 9. Erzeugung von Strom und Wärme aus Biomasse im TREND-Szenario 2020, Heizwert (H_U)	39
Tabelle 10. Importe und Exporte von Holz und ausgewählten Holzprodukten laut Außenhandelsstatistik in 1000 t TM.	40
Tabelle 11. Aufkommen und stoffliche Verwendung von SNP im Jahr 2020 auf Grund unserer Annahmen, 1000 Festmeter (fm).	41
Tabelle 12. Flächennutzungskategorien in den Hauptproduktionsgebieten im TREND-Szenario im Jahr 2020	43
Tabelle 13. Anteil der 12 Feldfruchtaggregate am österreichischen Ackerland im Jahr 1995 und 2020 im TREND-Szenario	44
Tabelle 14. Ackerfläche im TREND-Szenario versus Ack_{max} je HPG im Jahr 2020.	45
Tabelle 15. Nachfrage nach stofflich genutzten "Nachwachsenden Rohstoffen" vom Ackerland im MAX Szenario	45
Tabelle 16. Energetische Bewertung von Bio-Treibstoffen in der Literatur	48
Tabelle 17. Aufbringung von Biomasse für energetische Nutzung im TREND- und im MAX-Szenario in Energieeinheiten (PJ/a, H_U)	49
Tabelle 18. Nachfrage nach biogenen Energieträgern im MAX-Szenario im Vergleich zum WIFO-Baseline-Szenario, Heizwert (H_U)	51
Tabelle 19. Strom- und Wärmeerzeugung im MAX-Szenario 2020	51
Tabelle 20. Hauptkategorien der Landnutzung in den 8 Hauptproduktionsgebieten im MAX-Szenario 2020.	52
Tabelle 21. Anteil der 12 Feldfruchtaggregate am österreichischen Ackerland im Jahr 2020 im MAX-Szenario.	53
Tabelle 22. Auswirkungen eines Anbaus strohertragsreicherer Getreidesorten auf die Verfügbarkeit von Stroh für energetische Nutzung	55
Tabelle 23. Zusätzliches Biogaspotenzial im SUST-Szenario gegenüber dem MAX-Szenario 2020 (Brutto-Biogasertrag aus der Vergärung)	56
Tabelle 24. Aufbringung an Biomasse zur Energiegewinnung in Österreich 2020 im SUST-Szenario (PJ Heizwert H_U)	57
Tabelle 25. Verteilung der im SUST-Szenario aufgebrauchten Biomasse auf verschiedene Bereiche der Energienachfrage (PJ/a, H_U).	57
Tabelle 26. Strom- und Wärmeerzeugung aus Biomasse im SUST-Szenario 2020.	58
Tabelle 27. Verteilung der Ackerfläche auf die 12 Feldfruchtaggregate im SUST-Szenario 2020	59

R O L A N D
Themenheft "Biomasseinsatz und Landnutzung"

Tabelle 28. Rückgang der Acker- und Grünlandfläche in Abhängigkeit von der Erschwerniszone.	60
Tabelle 29. Folgenutzung von Acker- und Grünlandflächen, die im GLOB-Szenario aus der ursprünglichen Nutzung (1995) genommen werden	61
Tabelle 30. Erträge am Ackerland im GLOB-Szenario im Vergleich zu 1993/97 und zum TREND-Szenario.	61
Tabelle 31. Flächennutzungskategorien in den 8 Hauptproduktionsgebieten im GLOB-Szenario 2020.	63
Tabelle 32. Nutzung der im GLOB-Szenario im Vergleich zum TREND-Szenario frei werdenden Acker- und Grünlandflächen im Jahr 2020	63
Tabelle 33. Verteilung der Ackerfläche auf Kulturarten und Brache im GLOB-Szenario 2020	64
Tabelle 34. Kennziffern der Energetischen Nutzung von Biomasse in Österreich 2000 und 2020 in den vier Szenarien im Vergleich.	66
Tabelle 35. Fläche der wichtigsten Landnutzungskategorien in Österreich 1995 und 2020 in den vier Szenarien in Quadratkilometern [km ²].	68
Tabelle 36. Außenhandel Österreichs im Jahr 1995 und in den Szenarien. Nettoimporte (+, schwarz) und Nettoexporte (-, rot) sind je Biomassekategorie aufsummiert.	74
Tabelle 37. Verwendete Standing Crop-Werte und ANPP-Werte für die außer Nutzung gestellten Flächen im GLOB-Szenario.....	78
Tabelle 38. Düngaufwand je Kulturart und Ertragslage gemäß ÖPUL 2000.....	85
Tabelle 39. Stickstoffgehalt der Kulturarten bezogen auf Erntehauptprodukt und Erntenebenprodukt	86
Tabelle 40. Faktoren zur Berechnung des Düngaufwandes aus der Entzugsdüngung	87
Tabelle 41. Treibstoffeinsatz pro Hektar [ha] für Ackerbau und Grünlandbewirtschaftung	90

Verzeichnis der Abbildungen

Abbildung 1. Modellstruktur auf der inländischen Aufbringung.	17
Abbildung 2. Das Biomasse-Material/Energie-Fluss-Modell im Überblick.	19
Abbildung 3: Aufteilung des österreichischen Bundesgebietes in Hauptproduktionsgebiete (farbige Flächen) und Kleinproduktionsgebiete (schwarze Gebietsgrenzen).	26
Abbildung 4. Fortschreibung des Ackerlandes in den Hauptproduktionsgebieten auf Basis von Sättigungskurven.	29
Abbildung 5. Fortschreibung des Grünlandes in den Hauptproduktionsgebieten auf Basis von Sättigungskurven.	30
Abbildung 6. Beispielhafte Darstellung der Ertragsprognosen für vier Feldfruchtaggregate.	32
Abbildung 7: Datengrundlagen zur Abschätzung der Ablaugeverbrennung in der Papierindustrie im Basisjahr 2000.	38
Abbildung 8. Prognose des Wachstums des Holzverbrauches in verschiedenen Industriebereichen.	42
Abbildung 9. Energetische Nutzung von Biomasse in Österreich 2020 in den vier Szenarien.	65
Abbildung 10. Stoffliche Nutzung von landwirtschaftlicher Biomasse 1995 und 2000 in den vier Szenarien.	67
Abbildung 11. Anteile der wichtigsten Landnutzungskategorien an Österreichs Fläche 1995 und in den vier Szenarien.	67
Abbildung 12. Veränderungen der Landnutzung 1995/2020 in den Szenarien im Überblick.	69
Abbildung 13. Anteil des Ackerlands an der Fläche der Kleinproduktionsgebiete in Österreich 1995 und 2020 in den vier Szenarien.	70
Abbildung 14. Anteil des Grünlandes an der Fläche der Kleinproduktionsgebiete Österreichs 1995 und 2020 in den vier Szenarien.	71
Abbildung 15. Anteil der landwirtschaftlichen Nutzfläche (=Ackerland plus Grünland) an der Fläche der Kleinproduktionsgebiete Österreichs 1995 und 2020	72
Abbildung 16. Anteil der Waldfläche an der Fläche der Kleinproduktionsgebiete 1995 und 2020 in den vier Szenarien.	73
Abbildung 17. „Flächenimporte“ Österreichs 1995 und in den vier Szenarien.	75
Abbildung 18: Definition der menschlichen Aneignung von Nettoprimärproduktion (HANPP).	76
Abbildung 19. Oberirdische NPP von Waldökosystemen in Abhängigkeit vom Bestandsalter: Originaldaten von Cannell und die der Berechnung der ANPP der zuwachsenden Waldfläche zugrundegelegte Sättigungsfunktion.	77
Abbildung 20: Gesellschaftliche Aneignung von Nettoprimärproduktion (HANPP) in Österreich im Jahr 1995 und in den vier Szenarien im Jahr 2020.	79
Abbildung 21. Der Berechnung des Standing Crop der zuwachsenden Waldfläche zu Grunde gelegte Wachstumsfunktion des oberirdischen Standing Crop im Zeitverlauf der Sukzession.	81
Abbildung 22. Kohlenstoffvorrat der oberirdischen Vegetation 1995 und in den vier Szenarien im Jahr 2020.	82
Abbildung 23. Jährliche Netto-Kohlenstoffsene in der oberirdischen Vegetation in den vier Szenarien im Jahr 2020.	83
Abbildung 24. Aufwand an mineralischem Stickstoff-Dünger im Jahr 1995 und in den vier Szenarien im Jahr 2020.	88
Abbildung 25. Aufwand an mineralischem Stickstoff-Dünger je Flächeneinheit 1995 und in den vier Szenarien im Jahr 2020.	89
Abbildung 26. Grobschätzung des Fossilenergieeinsatzes in der Land- und Forstwirtschaft in den vier Szenarien im Jahr 2020. Die Unterschiede zwischen den Szenarien sind	

R O L A N D
Themenheft "Biomasseinsatz und Landnutzung"

aussagekräftiger als die Absolutwerte, da nicht alle Komponenten des Fossilenergieinputs berücksichtigt werden konnten.	91
Abbildung 27. Fossilenergieaufwand 1995 und in den vier Szenarien im Jahr 2020 getrennt nach Ackerland, Grünland, Gartenland und Wald.	91
Abbildung 28. Treibstoffaufwand nach Landnutzungskategorien und Kulturarten.	92

AutorInnen dieses Berichts

Helmut Haberl

A.o. Univ.-Prof. Dr., habilitiert 2001 in Humanökologie, Dissertation 1995 in Ökologie. Seit 1991 Mitarbeiter der Abteilung Soziale Ökologie des IFF, 1989-2000 Mitarbeiter des Ökologie-Institutes im Bereich Energie. Studium Biologie und Mathematik an den Universitäten Salzburg und Wien.
Arbeitsschwerpunkte: Theoretische Aspekte der Gesellschaft-Natur-Interaktion, energetischer Stoffwechsel der Gesellschaft, menschliche Aneignung von Nettoprimärproduktion (HANPP), Nachhaltigkeitsindikatoren, Kolonisierung natürlicher Prozesse.

Fridolin Krausmann

Dr., Jahrgang 1968, 1987 bis 1994 Studium der Biologie an den Universitäten Salzburg und Wien, 1996 bis 1998 Projektstudium „Kultur und Umwelt“ an der geisteswissenschaftlichen Fakultät der Universität Wien. Seit 1996 Mitarbeiter am Institut für interdisziplinäre Forschung und Fortbildung (IFF), Abteilung Soziale Ökologie. Seit 1999 Lehrbeauftragter am IFF.
Arbeitsschwerpunkte: Umweltgeschichte, Landnutzung, landwirtschaftliche Produktionssysteme, gesellschaftliche Aneignung von Nettoprimärproduktion, Materialflussanalyse (Biomasse), energetischer Metabolismus, physische Dimensionen industrieller Modernisierung, GIS.

Karl-Heinz Erb

Mag., geboren 1971 in Tschermers (BZ), Italien. 1990 bis 1999 Studium der Biologie, Studienzweig Ökologie an der Universität Wien. 1995-96 Teilnahme am Masters Programme in Human Ecology an der Freien Universität Brüssel (VUB). 1999 Abschluss des Biologiestudiums. Seit 1997 Projektmitarbeiter am IFF Abt. Soziale Ökologie. Seit 2000 Doktoratsstudium (Ökologie) an der Universität Wien.
Arbeitsschwerpunkte: Landnutzung, Kohlenstoffkreislauf und gesellschaftlicher Metabolismus, Biogeochemische Zyklen, Ökosystemtheorie, Nachhaltigkeitsindikatoren.

Niels B. Schulz

Mag., geboren 1968 in Bremen, Deutschland. 1999 Studienabschluss in Biologie / Ökologie an der Universität Wien. 1995 bis 1996 Teilnahme am Masters Programme for Human Ecology an der Freien Universität Brüssel. Projektmitarbeiter am IFF seit Frühjahr 1997. Lehrbeauftragter am IFF seit 2001.
Arbeitsschwerpunkte: Landnutzung und gesellschaftlicher Metabolismus, Auswirkung von Landnutzung auf Biodiversität, räumliche Modellierung von gesellschaftlichen Biomasseflüssen (GIS), gesellschaftliche Aneignung von Nettoprimärproduktion (HANPP).

Heidi Adensam

Mag., geboren 1969 in Wien; Studium der Wirtschafts- und Verwaltungsinformatik; ab 1993 wissenschaftliche Projektarbeit in folgenden Bereichen: Ökonomisch-Ökologische Modellierung, Kosten-Nutzen-Analyse, Input/Output-Analyse, Energie- und Emissionsmodellierung. 1994-95 Vertragsassistentin am Institut für Finanzwissenschaft und Infrastrukturpolitik der TU-Wien mit den Arbeitsschwerpunkten Biomasse-Nahwärmesysteme und Input/Output-Analyse. 1995 bis 1996 Mitarbeit am Umweltbundesamt mit den Arbeitsschwerpunkten externe Kosten und Energie- und Emissionsmodellierung. Seit 1996 Mitarbeit am Ökologie-Institut im Bereich „Ressourcenoptimierung und Risikoforschung“.
Arbeitsschwerpunkte: Energie aus Biomasse, nachwachsende Rohstoffe, Energie- und Infrastrukturökonomie.

1. Einleitung

Ziel des Projekts Rohstoff Landschaft ist es, die Auswirkungen der Nutzung nachwachsender Rohstoffe auf die Kulturlandschaft aufzuzeigen, Entwicklungsoptionen zu bewerten und Handlungsempfehlungen abzuleiten. Die Erarbeitung der Projekthinhalte erfolgt in sechs Modulen. Am Beginn steht das Modul Modellbildung. Hier werden die historische Entwicklung der Landnutzung, Einflussfaktoren auf die Landnutzung, die Nachfrage nach erneuerbaren Rohstoffen und Energieträgern analysiert und ein Biomasseflussmodell für die weiteren Arbeiten entwickelt. Die Analyse der Nachfrage erfolgt mit Hilfe von auf einem Leitfaden basierenden Interviews bei jenen Unternehmen, die nachwachsende Rohstoffe bei der Produktion einsetzen oder mit Produkten aus nachwachsenden Rohstoffen handeln. Im Modul Szenarien werden im Zuge eines Workshops die wesentlichen zukünftigen Einflussfaktoren im Bereich nachwachsender Rohstoffe und Energieträger ermittelt. Aufbauend auf diesen Faktoren werden die möglichen Veränderungen der Kulturlandschaft untersucht: Mit Hilfe des Modells wird simuliert, wie sich die unterschiedlichen Rahmenbedingungen auf die Kulturlandschaft auswirken können.

Im Modul Bewertung werden die in den Szenarien ermittelten Entwicklungspotenziale aus dem Blickwinkel der Ökonomie, Ökologie und der in der Landschaft lebenden Menschen bewertet. Dazu wird ein Verfahren herangezogen, das unterschiedliche Ziele berücksichtigt. Mit Hilfe dieser Bewertung können die Vor- und Nachteile der möglichen Veränderungen der Kulturlandschaft klar aufgezeigt werden. Das Modul Handlungsempfehlungen baut auf den bewerteten Szenarien auf und Handlungsempfehlungen für die Politik werden erarbeitet. Zentrale Fragestellungen sind: Wie kommen wir zu den als vorteilhaft ausgewiesenen Entwicklungsoptionen der Kulturlandschaft, welche Rahmenbedingungen müssen gewährleistet sein? Welches sind die relevanten Behörden und welche Kompetenzen brauchen diese? Die nun gewonnenen Erkenntnisse der Forschungsarbeit und der Konsensbildung werden im Modul Instrumente in einer konkreten Region umgesetzt. Zusätzlich wird ein Hilfsmittel für die Planung und Umsetzung einer regionalen Biomassestrategie gemeinsam mit den lokalen Akteuren entwickelt und ein Pilotprojekt wird initiiert.

Ergebnisse und Produkte des Projekts „Rohstoff Landschaft“ sind:

- Modell zur Analyse der Auswirkungen veränderter Nachfrage nach nachwachsenden Rohstoffen und Energieträgern auf die Kulturlandschaft;
- Zukunftsbilder und Zukunftsgeschichten – Entwicklungsmöglichkeiten der Kulturlandschaft bildlich und in Geschichten dargestellt;
- Handlungsempfehlungen für Entscheidungsträger;
- Hilfsmittel zur Erstellung eines Biomassekonzeptes;
- Initiierung eines Pilotprojektes in einer Region.

In diesem Themenheft werden nur die Annahmen, Methoden, Ergebnisse und Schlussfolgerungen der beiden ersten Module „Modell“ und „Szenarien“ dokumentiert.¹ Ziele dieser beiden Module waren:

Modell: Entwicklung eines Biomassefluss-Modells, das eine Verknüpfung von Biomassenachfrage und Landnutzung in Österreich für historische Zeitpunkte und für die mittelfristige Zukunft erlaubt. Dieses Modell dient vor allem der Analyse von Zusammenhängen zwischen Biomasseflüssen und Landnutzung.

Szenarien: Erstellung von Szenarien über die möglichen zukünftigen Wechselwirkungen zwischen (i) Veränderungen des Einsatzes biogener Energieträger und nachwachsender Rohstoffe und (ii) der Landnutzung in Österreich. Einige ökologische Aspekte dieser Szenarien werden mit Hilfe ausgewählter Indikatoren analysiert.

¹ Die Ergebnisse der Interviews mit Unternehmen zum Thema Nachfrage nach biogenen Rohstoffen werden im Detail in einem eigenen Themenheft dargestellt und können wie auch die anderen Rohstoff-Landschaft-Publikationen beim Österreichischen Ökologie-Institut (siehe Vorwort) bestellt werden.

Hintergrund dieser Aufgabenstellung ist die Annahme, dass es einen engen Zusammenhang zwischen dem gesellschaftlichen Stoffwechsel – also den sozioökonomischen Material- und Energieflüssen – und der Landnutzung gibt (Haberl et al. 2001b, Krausmann 2001, Weisz et al. 2001).

Ein Beispiel dafür ist die Periode 1950 bis 1995, in die ein großer Teil der Industrialisierung der österreichischen Landwirtschaft fällt. In dieser Zeit kam es zu einer weit reichenden Mechanisierung der Landwirtschaft, in deren Zuge menschliche und tierische Arbeitskraft praktisch vollständig durch die Arbeit von Maschinen ersetzt wurde. Zu Beginn dieser Periode war es in den meisten Gebieten üblich, Ackerbau und Viehwirtschaft kleinräumig vermischt zu betreiben – an ihrem Ende war die Landwirtschaft zu einem guten Teil in fast reine Ackerbau- und fast reine Viehzuchtgebiete getrennt. Durch diese Konzentration und durch eine Vervielfachung des Einsatzes von chemisch erzeugten Düngemitteln wurden die kleinräumigen Nährstoffkreisläufe in vielen Regionen aufgebrochen.

Damit veränderte sich die Rolle der Landwirtschaft für den gesellschaftlichen Stoffwechsel: Aus einem der wichtigsten Energie liefernden Wirtschaftsbereiche wurde ein Wirtschaftsbereich, der im Wesentlichen bestimmte Ressourcen wie z.B. Getreide zu möglichst geringen Kosten bereit stellen sollte – der Netto-Energieertrag dieses Prozesses² war dabei kein wesentliches Kriterium mehr. Viel wichtiger waren Fragen wie wirtschaftlichen Effizienz, und für diese war vor allem die Einsparung von den im Vergleich zur Energie viel höheren Arbeitskosten pro produzierter Einheit maßgeblich.

Diese Veränderungen gingen mit einer deutlichen Steigerung der Erträge einher, die dazu führte, dass Österreich in den 1970er Jahren trotz einer deutlichen Verringerung der landwirtschaftlichen Fläche bei vielen wichtigen landwirtschaftlichen Produkten von einem Nettoimporteureur zu einem Nettoexporteur wurde. Diese Exporte waren häufig nur auf Grund von Exportsubventionen wirtschaftlich möglich, was in den 1980er Jahren zu einer Umorientierung der Landwirtschaftspolitik weg vom Ziel der Selbstversorgung mit Nahrungsmitteln hin zum Ziel eines Abbaus der Überschussproduktion führte. Zu diesem Zweck wurde unter anderem die Förderpolitik so gestaltet, dass die Aufrechterhaltung der landwirtschaftlichen Bewirtschaftung auf einer möglichst großen Fläche ermöglicht werden sollte.

Im Jahr 1995 erfolgte mit dem Beitritt zur Europäischen Union eine weitere einschneidende Veränderung der österreichischen Agrarpolitik: Seit damals wird ein großer Teil der Agrarförderungen im Rahmen von EU-Programmen abgewickelt. Diese sind Teil der sogenannten „Gemeinsamen Agrarpolitik“ (Common Agricultural Policy, CAP), die derzeit ebenfalls eine Politik des „In-Nutzung-Haltens“ von landwirtschaftlichen Flächen verfolgt.

All diesen politischen Bemühungen zum Trotz kam es seit 1950 zu einer deutlichen Verringerung der landwirtschaftlichen Flächen, sowohl der Ackerflächen, als auch der Grünlandflächen, zugunsten von Wald- und Siedlungsflächen. Dieser Rückgang erklärt sich unter anderem durch eine weitgehend stagnierende Bevölkerung und einen etwa gleichbleibenden Anteil tierischer Produkte an der Ernährung dieser Bevölkerung, bei gleichzeitig steigenden Erträgen. Einem etwa konstant bleibenden Bedarf an Biomasse für die Ernährung der Bevölkerung stehen immer höhere Erträge pro Flächeneinheit gegenüber, was zu einer Verringerung des Flächenbedarfs für Ernährung führt. Zu all dem kommt eine massive Ausweitung der Außenhandelsvolumina mit Lebensmitteln und Rohprodukten, vor allem seit dem EU-Beitritt.

Einer der „Hoffnungsträger“ der Agrarpolitik ist der Aufbau von neuen Märkten, insbesondere die verstärkte Nutzung von Biomasse zur Energieversorgung sowie die verstärkte Nutzung von nachwachsenden Rohstoffen als industriell-gewerbliche Ausgangsmaterialien. Diese werden vor allem auch mit ökologischen Argumenten vorangetrieben, unter anderem den folgenden (vgl. Katter et al. 1999, Österreichischer Biomasse-Verband 2000b u.v.a.):

- Biomasse ist – im Unterschied etwa zu fossilen Energieträgern und den von ihnen abgeleiteten Werkstoffen, die aus der Ausbeutung endlicher Rohstoffvorräte stammen – ein heimischer, erneuerbarer Rohstoff. Die Ausweitung der Nutzung von Biomasse wird daher oft als eine Möglichkeit gesehen, Fortschritte in Richtung auf eine „Kreislaufwirtschaft“ zu erzielen, die nicht auf endlichen Rohstoffvorräten aufbaut.

² Also das Verhältnis zwischen gesellschaftlichen Inputs zu gesellschaftlichen Outputs der Landwirtschaft im Sinn des „Energy Return on Investment“ (EROI), wie er etwa von Charlie Hall und anderen definiert wurde (Hall et al. 1986).

- Der Einsatz von Biomasse zur Energiegewinnung sei CO₂-neutral, weil bei der Verbrennung von Biomasse nur jenes CO₂ in die Atmosphäre frei gesetzt werde, das bei der Bildung der Biomasse aus der Atmosphäre absorbiert worden sei.

Diese Argumente, die häufig für die Nutzung der Biomasse als Energieträger und Rohstoff ins Treffen geführt werden, bedürfen allerdings der Präzisierung:

- Biomasse ist zwar ein einheimischer und erneuerbarer Rohstoff, aber die Gewinnung von Biomasse ist häufig mit dem Einsatz von (Fossil-)Energie verbunden, der recht beträchtlich sein kann (vgl. Jungmeier et al. 1999). Während dieser bei manchen Anwendungen wie etwa Holz- oder Hackschnitzelheizungen, relativ gering ist – in der Größenordnung weniger Prozent der gewonnenen Endenergie –, stellt sich bei anderen Prozessen die Frage, ob überhaupt ein positiver „Energy Return on Investment“ (EROI) vorliegt, d.h. ob die gesellschaftlichen Energieinputs in den Prozess nicht höher sind als der gesellschaftliche Ertrag an Energie. Diese Frage wurde etwa bei Bio-Treibstoffen in verschiedenen Studien unterschiedlich beantwortet (Giampietro et al. 1997, Knoflacher et al. 1991, Neubarth et al. 2000). Hohe Fossilenergieinputs stellen nicht nur das Prinzip der Kreislaufwirtschaft in Frage, sondern führen auch zu entsprechenden CO₂-Emissionen in der Prozesskette.
- Die CO₂-Neutralität der Biomassenutzung ist auch aus einem anderen Grund kritisch zu hinterfragen. Sie ist nur dann gegeben, wenn heutige Landbedeckungsmuster als gegeben angesehen werden und sich die Holzernte im Wald nicht wesentlich ändert.³ Führt jedoch die Nutzung von Biomasse dazu, dass die Waldfläche schrumpft (was in Österreich nicht anzunehmen ist), oder dass im Wald mehr Holz entnommen wird als jetzt, so können diese Veränderungen durchaus mit klimawirksamen CO₂-Flüssen verbunden sein. Wenn etwa Wälder abgeholzt oder bisher nicht oder wenig genutzte Wälder einer intensiven forstwirtschaftlichen Nutzung zugeführt werden, so führt dies zu einer Netto-CO₂-Freisetzung in die Atmosphäre (Harmon et al. 1990, Houghton 1995). In Österreich ist die Situation derzeit so, dass die Kohlenstoffbestände im Wald wachsen, (1) durch das Wachstum der Waldfläche seit ihrem Minimalwert, der etwa Anfang des 19. Jahrhunderts erreicht gewesen sein dürfte, sowie (2) auf Grund der Tatsache, dass weniger Holz entnommen wird, als nachwächst (Büchsenmeister et al. 1999, Schieler et al. 1996). Eine Steigerung der Holzernte sowie eine Verringerung des Zuwachses der Waldfläche führt in dieser Situation zwar nicht zu einer Netto-CO₂-Freisetzung, sehr wohl aber zu einer Verringerung der Senkenfunktion des Waldes für CO₂. (siehe dazu im Detail Kapitel 5.3)

Zu all dem kommt, dass Biomasse nicht nur ein gesellschaftlich wertvoller Rohstoff ist, sondern im Funktionieren von Ökosystemen eine wichtige Rolle spielt. Die von den Pflanzen im Prozess der Photosynthese gebildete Biomasse stellt letztlich den Energieinput für alle heterotrophen Nahrungsketten und Nahrungsnetze dar und sichert somit die Nahrungsbasis wild lebender Organismen. Zudem führt der Verbleib dieser Biomasse in Ökosystemen – unter gewissen Umständen⁴ – zum Aufbau von Biomasse- und damit Kohlenstoffvorräten in der Vegetation und ist damit Voraussetzung für die Funktion der Vegetation als Kohlenstoff-Senke.

Biomasse stellt also nicht nur eine Ressource für den gesellschaftlichen Stoffwechsel dar, sondern auch einen essenziellen Energieinput für das Funktionieren der Ökosysteme und für den Erhalt der Artenvielfalt. Noch unpublizierte Ergebnisse eines derzeit in Bearbeitung befindlichen Projekts der Kulturlandschaftsforschung, das die Abteilung Soziale Ökologie des IFF in Kooperation mit dem Institut für Ökologie und Naturschutzforschung der Universität Wien und dem Forschungszentrum Seibersdorf durchführt, zeigen, dass der Artenreichtum in ostösterreichischen Kulturlandschafts-Ökosystemen bei vielen der untersuchten Organismengruppen mit dem Verbleib von Energie in Ökosystemen korreliert ist.⁵

³ Man kann das auch anders formulieren: Biomasseverbrennung ist – bis auf den Fossilenergieeinsatz in der Prozesskette – CO₂-neutral, wenn man den natürlichen Abbau der Biomasse im Ökosystem als „Referenznutzung“, also als Vergleichspunkt, heranzieht (Jungmeier et al. 1999, Seiten K-10, K-12 sowie S. 66ff). Dies ist allerdings eine vereinfachende Annahme, die unterstellt, die terrestrischen Ökosysteme, aus denen die Biomasse entnommen wird, seien im Gleichgewicht. Wie unsere Analysen in Kapitel 5 dieser Studie zeigen werden, ist diese Vereinfachung in Österreich nicht zulässig.

⁴ In Land-Ökosystemen ist das vor allem dann der Fall, wenn „junge“ Ökosysteme – am Beginn einer Sukzession – „altern“, d.h. sich unter relativ gleich bleibenden Bedingungen entwickeln können. Vor allem Waldökosysteme bauen unter diesen Bedingungen große Biomassebestände (=Kohlenstoff-Speicher) auf.

⁵ Quelle: unpublizierte Ergebnisse von N.B. Schulz, C. Plutzer, H. Haberl, F. Krausmann, K.H. Erb und anderen, 2001.

Die Vorteile einer Ausweitung der Biomassenutzung – Verringerung von CO₂-Emissionen und Substitution nicht-erneuerbarer Rohstoffe – stehen diesen möglichen Nachteilen gegenüber. Um diese möglichen negativen Auswirkungen der Biomassenutzung besser abschätzen zu können, haben wir in diesem Bericht auch Indikatoren berechnet, die Auskunft darüber geben, wie sich die verschiedenen Szenarien auf die Biomasse- und damit Energiemenge, die im Ökosystem verbleibt, sowie auf die Funktion der Vegetation als Kohlenstoffspeicher auswirken. Zudem wurden einige weitere Indikatoren wie Stickstoff-Input und Energie-Input der Landwirtschaft ermittelt.

2. Beschreibung des Biomasse-Flussmodells

2.1 Ziele der Modell-Entwicklung

Das in diesem Projektteil erarbeitete Modell hat folgende Ziele:

- Verbesserung des Verständnisses der Zusammenhänge zwischen Biomasse-Flüssen und Landnutzung in Österreich in einer hohen räumlichen Auflösung (Gemeinden) sowie in zeitlicher Dynamik (1949-1995).
- Aggregation und Visualisierung der Biomasseflüsse in Österreich in einer gut verständlichen funktionalen Gliederung.
- Unterstützung der Erstellung von Szenarien der Landnutzungs- und Ressourcenpolitik (im Hinblick auf Biomasse) für Österreich (bis 2020).
- Insbesondere sollte es das Modell ermöglichen, die Konsistenz der Biomasseflüsse in den Szenarien zu garantieren.⁶
- Unterstützung der Arbeit in anderen Modulen des Projekts (Instrument zur Optimierung von Biomassenutzungswegen, regionale Umsetzung) durch Bereitstellung einer umfangreichen Datenbasis über Landnutzung und Biomasseflüsse in Österreich.

Das Modell soll zwar die Diskussion über verschiedene Richtungen der Ressourcen- und Landnutzungspolitik unterstützen, es war aber nicht als "Optimierungsinstrument" gedacht (im Unterschied zu Modellen wie MARKAL). Vielmehr sollte es vor allem der Analyse dienen und die Konsistenz von Szenariorechnungen garantieren.

Das Modell ist bei dem Entwicklungsstand, den es in diesem Projekt erreichen kann, ausschließlich für den internen Gebrauch im Projekt gedacht; so enthält das Modell etwa keinerlei komfortable Benutzeroberflächen oder dergleichen und verlangt zu seiner Anwendung eine genaue Kenntnis der Modell- und Datenstruktur.

2.2 Einige Biomasse- und Landnutzungs-Modelle in der Literatur

Einen Überblick über verschiedene international verwendete Ansätze zur Modellierung von Biomassenutzung und Bioenergie-Potenzialen bietet ein Sonderheft der Zeitschrift "Biomass and Bioenergy" (Vol. 18, S. 263-340, 2000). Ein Teil der in diesem Band diskutierten Modelle zielt vor allem auf die Bewertung von verschiedenen Systemen zur Bereitstellung von Energie auf Basis von Biomasse im Hinblick auf ökonomische und – teilweise – ökologische Kriterien hin und ist daher für uns weniger von Interesse (Mitchell 2000; Walsh 2000).

Eine kritische Perspektive auf Bioenergie-Modelle bringt ein Beitrag (Roos und Rakos 2000), der vor allem darauf hinweist, dass Unsicherheiten in Bezug auf Faktoren, die für das Verhalten des Systems wesentlich sind, die aber in formalen Modellen nicht oder nur schwer berücksichtigt werden können (wie z.B. individuelle Präferenzen von Nutzern, Bedeutung von lokalen politischen "bottom-up" Initiativen, Verfügbarkeit von Information etc.), zu unrealistischen Ergebnissen der Modellierung führen können. Dies insbesondere dann, wenn das Verhalten des Modells vor allem von betriebswirtschaftlichen Optimierungen gesteuert wird, im Verhalten des realen Systems hingegen neben betriebswirtschaftlichen Überlegungen eine Reihe weiterer Faktoren eine wichtige Rolle spielt.

Der von uns verfolgten Aufgabenstellung näher steht das sogenannte POLYSYS-Modell⁷ (De La Torre Ugarte und Ray 2000). Dabei handelt es sich um ein Modell des Agrarsektors der USA, das Angebot

⁶ Konsistenz bedeutet in diesem Zusammenhang Massenkonsistenz, d.h. die Biomasseinputs (im Inland erzeugte Biomasse plus importierte Biomasse) müssen den Outputs (Exporte und Inlandsverbrauch) entsprechen. Kuppelproduktionen, etwa der Anfall von Rapsextraktionsschrotten bei der RME-Produktion, müssen konsistent erfasst und in ihren Auswirkungen (etwa auf den Import von Eiweißfuttermitteln) berücksichtigt werden.

⁷ Genau genommen handelt es sich um ein Modell-Rahmenkonzept, das aus verschiedenen Teilmodellen beruht, die mit verschiedenen Modellierungs-Philosophien arbeiten (ökonomisch, lineare Programmierung, Prozessmodelle).

und Nachfrage von landwirtschaftlichen Produkten modelliert. Die landwirtschaftliche Produktion wird auf Basis von 305 geographischen Regionen beschrieben. Das Modell orientiert sich an publizierten Prognosen des Agrarsektors (diese gehen als modellexterne Vorgabe ein) und versucht abzuschätzen, welche Abweichungen von dieser Prognose durch verschiedene Änderungen in der Agrarpolitik hervorgerufen werden. Im Unterschied zu unserem Modell wird keine konsistente Abbildung von Biomasseflüssen angestrebt. Das Modell konzentriert sich stark auf ökonomische Parameter (Produktionskosten, betriebswirtschaftliche Performance verschiedener Anbauarten), enthält aber auch Veränderungen im Anbau und andere ökologische Parameter, die für uns von Interesse sind. Das Modell ist daher für uns vom grundsätzlichen Ansatz her interessant. Der Aufwand, der für die ökonomische Modellierung des Agrarsektors im POLYSYS-Modell getrieben wird, übersteigt allerdings den Rahmen des vorliegenden Projekts bei weitem.

Aus konzeptuellen Gründen interessant ist eine weitere Studie, die in diesem Sonderheft publiziert wurde (Graham et al. 2000). Diese Studie verknüpft ein GIS (ArcInfo) mit verschiedenen anderen Modellen (wie etwa das Landwirtschaftsmodell "EPIC" – für Erosion Productivity Impact Calculator – sowie verschiedene andere, großteils auf Excel beruhende Modelle), um Produktionskosten für Energiepflanzen räumlich explizit zu kalkulieren. Interessant ist dabei vor allem die Verknüpfung des GIS mit anderen Modellen – eine Aufgabe, die sich auch in unserem Projekt stellt. Auch hier gilt allerdings, dass der Modellierungsaufwand, der in dieser Studie getrieben wurde, den Rahmen des vorliegenden Projekts bei weitem übersteigen würde.

Hinsichtlich der Modellierung von Landnutzungsveränderungen sollen – aus der unüberschaubaren Menge an publizierten Modellen – zwei Beispiele kurz diskutiert werden. Eine umfangreiche Studie des "Zentrums für Agrarlandschafts- und Landnutzungsforschung" (ZALF) widmet sich der Frage, wie sich die Agrarlandschaften im Nordosten Deutschlands nach der Wende (und der damit stattfindenden Integration der früheren DDR in die EU) verändern wird (Bork et al. 1995). Die Studie beruht auf einem zweijährigen Projekt des ZALF, an dem 39 Wissenschaftler beteiligt waren. Verwendet wurden verschiedene Modelle, vor allem ein ökonomisches Regionalmodell, Optimierungsmodelle zur Vorhersage von Landnutzungsveränderungen auf Grund betriebswirtschaftlicher und ökologischer Charakterisierungen der verschiedenen Regionen, sowie Prozessmodelle zur Analyse von Nährstoff-Flüssen, Wasserhaushalt etc.

Abschließend wollen wir noch eine weitere Studie kurz diskutieren, die vier Szenarien für die Entwicklung der ländlichen Regionen in der (damals 12 Mitgliedsstaaten umfassenden) EG bis 2015 entwickelt (WRR 1992). Ein wesentliches Motiv für diese Studie war die damals aktuelle Frage der landwirtschaftlichen Überschussproduktion und die daraus resultierenden Haushaltsprobleme der EG. Die Studie beruht auf dem sogenannten GOAL-Modell (General Optimal Allocation of Land Use), das auf einer relativ groben regionalen Gliederung (NUTS-1-Gebiete) angewendet wurde. Dieses optimierte die Landnutzung vor allem im Hinblick auf Kriterien wie "Maximierung der Erträge", "Minimierung der Kosten", "Maximierung der landwirtschaftlichen Beschäftigung" sowie verschiedene umweltpolitische Ziele, insbesondere den Einsatz von Stickstoffdünger und Pestiziden. Allerdings ist bei einem derartigen Ansatz die Frage zu stellen, inwieweit eine derartige rein betriebswirtschaftliche Sicht auf die Entscheidungskriterien im Landwirtschaftssektor tatsächlich gerechtfertigt ist (vgl. Roos und Rakos 2000).

2.3 Funktionsweise des Modells

2.3.1 Grundlegende Charakteristik des Modells

Im Unterschied zu den zitierten Modellen zielt das im vorliegende Projekt entwickelte Modell darauf ab, den Zusammenhang zwischen dem gesellschaftlichen Stoffwechsel (siehe z.B. Ayres und Simonis 1994; Fischer-Kowalski et al. 1997), insbesondere der gesellschaftlichen Biomasse-Flüsse, und Veränderungen der Landnutzung zu analysieren. Interessant sind für uns vor allem Veränderungen im gesellschaftlichen Biomasse-Stoffwechsel (Krausmann 2000, Krausmann und Haberl 2001) und der Landnutzung in einer mittelfristigen zeitlichen Perspektive (20-50 Jahre). Räumliche Differenzierungen – etwa Zu- und Abnahme von Ackerland, Grünland und Wald in verschiedenen Regionen – sind dabei von hohem Interesse; die erzielbare räumliche Auflösung ist allerdings durch die Datenverfügbarkeit begrenzt (unterste Ebene: Gemeinden).

Das Modell ist ein deskriptives Gleichgewichtsmodell, das die Biomasseflüsse beginnend mit der land- und forstwirtschaftliche Produktion von Biomasse über Import und Export von Rohmaterialien (Rohprodukten) bis hin zu Verarbeitung und Endkonsum durch die Volkswirtschaft verfolgt. Biomasseinputs und -outputs werden in verschiedenen Einheiten abgebildet und ihre Verknüpfungen dargestellt. Mit Hilfe des entwickelten Modells können

- bestimmte Veränderungen in der Verteilung der Landnutzung dem Modell "extern" vorgeben und gefragt werden, welche Auswirkungen dies auf die inländische Produktion an Biomasse hat
- auf Grund der Nachfrageveränderung nach bestimmten Kulturarten – etwa durch Erhöhung der Nachfrage nach nachwachsenden Rohstoffen – der Flächenbedarf ermittelt und diese Flächen auf die räumlichen Einheiten verteilt werden.

Das Modell erlaubt es, flexibel Änderungen in den Flüssen bzw. in der Flächennutzung anzunehmen, die aufgrund von zu untersuchenden Maßnahmen oder Maßnahmenbündeln zu erwarten sind. Die von der Modellstruktur vorgegebene Konsistenz der Flüsse bzw. Flächen zwingt dazu, für jede Veränderung gegenüber den Status quo einen konsistenten Satz von Annahmen zu treffen.⁸ Zudem erlaubt es das Modell, diese Veränderungen vor dem Hintergrund des Status quo (Biomasseflüsse, Flächennutzung etc.) zu bewerten, d.h. etwa die Größenordnung der durch eine Maßnahme bewirkten Veränderungen in einen Gesamtzusammenhang (z. B. die Auswirkungen auf den Kohlenstoffhaushalt und den Energiehaushalt) zu stellen.

Zur Durchführung von Szenario-Rechnungen oder anderen Simulationen werden Annahmen (z.B. Potenzialabschätzungen für die Nutzung von nachwachsenden Rohstoffen, erzielbare Marktanteile biogener Energieträger, erwartete Entwicklung der Verteilung der Landnutzung in einem Trend-Szenario etc.) getroffen, die auf „modellexternen“ Quellen (z.B. auf Befragungen, Expertenwissen, der Literatur, etc.) basieren. Die wesentliche Leistung des Modells besteht darin, dass es mit Hilfe der im Modell enthaltenen Daten (Biomasseflüsse, prozesstechnisches Know-how etc.) möglich ist, derartige „modellexterne“ Informationen mit den im Modell enthaltenen Daten und Verknüpfungen zu einem Szenario zu verbinden, in dem Angebot von Biomasse – in Zusammenhang mit einem konsistenten Landnutzungs-Datensatz – und Nachfrage nach Biomasse über ein konsistentes Materialflussmodell verknüpft sind.

Ziel des entwickelten Modells ist die Beschreibung und Simulation von Biomasseflüssen. Eine Optimierung oder Prognose (z.B. die Entwicklung eines „volkswirtschaftlich optimalen“ Planes zur Nutzung biogener Ressourcen oder das selbsttätige Errechnen eines Szenario für Landnutzung und Biomasseflüsse bis 2020 auf Basis der Eingabe weniger Inputdaten) waren nicht Gegenstand dieses Projektes und können daher mit dem Modell nicht durchgeführt werden.

2.3.2 Datengrundlagen

Die land- und forstwirtschaftliche Landnutzung wird im Wesentlichen auf Basis der Bodennutzungserhebung bzw. der Agrarstrukturerhebung des ÖSTAT für folgende Jahre erfasst: 1949, 1959, 1969, 1979, 1983, 1986, 1990 und 1995.

Daten zur Agrarstruktur stammen aus den landwirtschaftlichen Betriebszählungen, den Agrarstrukturerhebungen, den Viehbestandszählungen sowie den Volkszählungen für verschiedene Jahre (alle ÖSTAT); Österreichsummen wurden auch aus der Datenbank des WIFO entnommen.

Die Daten zur landwirtschaftlichen Ernte beruhen auf der Erntestatistik des ÖSTAT für den Zeitraum 1949 bis 1995 (alle Jahre, Drei- und Fünfjahresmittel). Daten zur Holzernte sowie den weiteren Holzflüssen stammen aus den Holzbilanzen des ÖSTAT.

Daten zur Erzeugung und zur Verwendung von tierischen Produkten (Fleisch, Milch, Eier...) stammen aus den Ernährungs- bzw. Versorgungsbilanzen des ÖSTAT; zusätzlich wurden Daten der Bundesanstalt für Agrarwirtschaft herangezogen.

Der Außenhandel mit Biomasse wurde auf Basis der amtlichen Außenhandelsstatistik ergänzt durch Angaben der Ernährungs-/Versorgungsbilanz des ÖSTAT für land- und forstwirtschaftliche Rohstoffe,

⁸ z.B. bei einer Erhöhung des Biomassebedarfs: Ausweitung der Flächennutzung oder Steigerung der Erträge oder Erhöhung der Importe oder Verminderung der Exporte.

Halbfertig- und Fertigwaren aus Biomasse, detailliert für die Jahre 1950, 1960, 1970, 1980, 1986, 1990 und 1995 erfasst. Für alle anderen Jahre seit 1949 wurden nur aggregierte Daten berücksichtigt.

Daten zur Verwendung von landwirtschaftlicher Biomasse in den Bereichen Nahrung, Futter, Industrie, landwirtschaftlicher Eigenverbrauch, Energieerzeugung beruhen vor allem auf den amtlichen Ernährungsbilanzen bzw. Versorgungsbilanzen des ÖSTAT, den Holzbilanzen des ÖSTAT sowie der amtlichen Energiestatistik.

Produktion und Verbrauch nachwachsender Rohstoffe in Österreich – sowohl für energetische Zwecke, als auch für die stoffliche Nutzung – wurden darüber hinaus im Detail recherchiert, größtenteils vom IFF-Soziale Ökologie, zum Teil vom IWI (Recherchen und Betriebsbefragung).

2.3.3 Modellstruktur

Das Modell setzt grundsätzlich auf die vom Österreichischen Statistischen Zentralamt im Rahmen der Bodennutzungserhebung unterschiedenen "Kulturarten" (BNE-Kulturarten) auf. Die in der Bodennutzungserhebung (BNE) erhobenen ca. 40 Kultur- bzw. Feldfruchtarten⁹ werden zur Verbesserung der Handhabbarkeit des Modells zu 15 Landnutzungsaggregaten zusammengefasst (Beschreibung siehe unten, bzw. Tabelle 1).

Die Biomasseflüsse werden grundsätzlich in zwei verschiedenen Einheiten berechnet und zwar als kg Trockensubstanz und als Energiefluss, wobei Biomasseflüsse anhand des kalorimetrischen Brennwertes in Energie umgerechnet werden (vgl. Haberl 1995). Alle Angaben über Materialflüsse beziehen sich, wenn nicht explizit anders angegeben, auf Trockensubstanz.

Das Modell gliedert sich grundsätzlich in eine Aufbringungs- und Verwendungsseite.

Aufbringungsseite

Auf der Aufbringungsseite wird die Produktion pflanzlicher Biomasse in Land- und Forstwirtschaft sowie die Netto-Importe (Importe abzüglich Exporte) und Veränderungen des Bestandes erfasst. Hier ist eine tiefe Untergliederung sowohl nach Regionen (Gemeindeebene) und nach allen etwa 40 BNE-Kulturarten/Feldfrüchten (im wesentlichen die in der Landwirtschaftsstatistik erfassten Arten) möglich, und zwar in den Dimensionen Fläche und Erträge (siehe Abbildung 1).

Die 40 BNE-Kulturarten werden auf der Aufbringungsseite durchgängig verwendet, mit Ausnahme der Exporte und Importe. Diese enthalten auch verarbeitete Produkte, die nur teilweise den Kulturarten zugerechnet werden können.

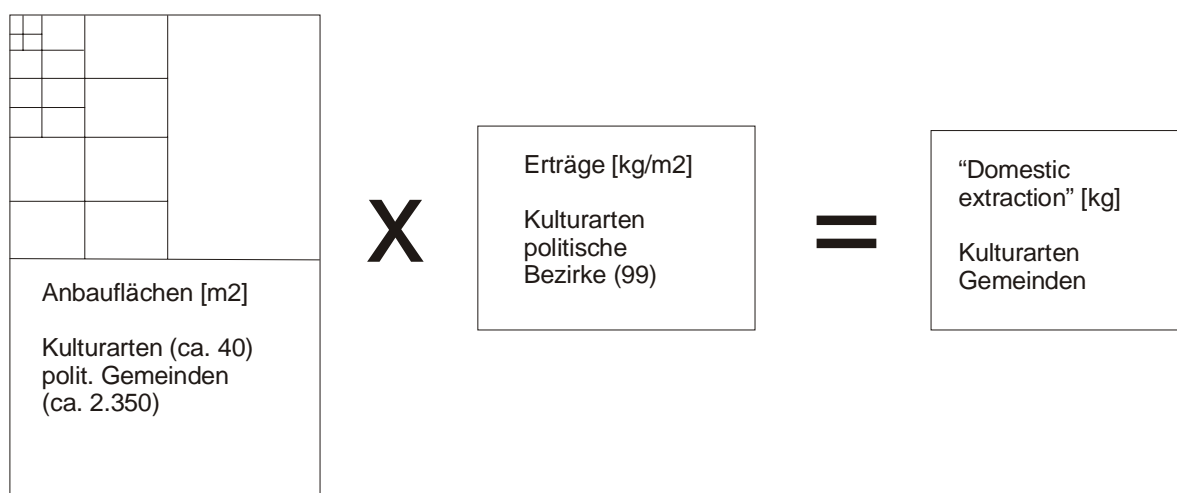


Abbildung 1. Modellstruktur bezüglich der inländischen Aufbringung.

Quelle: Eigener Entwurf.

⁹ Als Kulturarten werden in der Terminologie der Agrarstatistik Landnutzungskategorien wie Ackerland, Weingärten, Kulturweiden etc. bezeichnet. Feldfrüchte bezeichnen hingegen die am Ackerland angebauten Kulturpflanzen (z.B.: Hartweizen, Körnermais, Zuckerrübe)

Alle Aggregationen über räumliche Einheiten (Kleinproduktionsgebiete, Großproduktionsgebiete, politische Bezirke, Bundesländer etc.) und über Kulturarten (sowie die Aggregate Ackerland, Grünland und Wald) sind möglich, soweit dies auf Grund der Detaillierung der Datenbasis inhaltlich sinnvoll ist.¹⁰

Die Modellierung selbst erfolgt durchgängig im Tabellenkalkulationsprogramm Excel. Die Excel-Daten über die Bodennutzung können in das Geographische Informationssystem (GIS) MAP-Info übertragen und dort visualisiert werden. Die Daten der Zeitreihe 1949-1995 wurden bereits eingehend in MAP-Info analysiert.

Neben der maximalen Anbaufläche und der grundsätzlichen Anbaueignung wird die Ausbreitung der unterschiedlichen Kulturarten im Modell auch von ökonomische Entscheidungskalkülen bestimmt. Die Auswirkungen von Kontingentregelungen, Deckungsbeiträge und Subventionszahlungen werden in Form eines statischen Gleichgewichtsmodells modelliert und Veränderungen an diesen Parametern können simuliert werden.

Verwendungsseite

Auf der Verwendungsseite erfasst das Modell den Biomassefluss durch die Volkswirtschaft auf mehreren Umwandlungsstufen, im Modell gegliedert nach den Umwandlungsmodulen "Verarbeitung" und "Nutztiere", bis hin zum Endverbrauch – der im Modell in die drei Module menschliche Ernährung, materielle Nutzung und energetische Nutzung gegliedert ist – und zum land- und forstwirtschaftlichen Eigenverbrauch und Abfall. Das Modell wurde so gestaltet, dass es von seiner Struktur möglichst gut mit dem derzeitigen Standard der Materialflussrechnung (MFA)¹¹ sowie aktuellen Überlegungen zur Methodik einer zur MFA kompatiblen Energieflussrechnung (Haberl 2001) kompatibel ist.

Die folgende Abbildung zeigt das Biomasseflussmodell im Überblick:

¹⁰ Auf Grund der Datenbasis sind gewisse Unschärfen, die sich aus dem sogenannten "Wirtschaftsprinzip" ergeben, unvermeidbar. Gemäß Wirtschaftsprinzip wird jede Fläche in der amtlichen Agrarstatistik derjenigen Gemeinde zugeordnet, in welcher der Besitzer bzw. Bewirtschafter der Liegenschaft ansässig ist, und nicht der Gemeinde, in der die Fläche physisch liegt. Die Fehler, die sich hierdurch ergeben, gleichen sich bei einer Aggregation mehrerer Gemeinden (etwa zu Kleinproduktionsgebieten oder politischen Bezirken) weitgehend aus. Um zu überprüfen, welche Aussagen auf welcher räumlichen Aggregationsebene getroffen werden können, wurden zahlreiche Auswertungen vorgenommen und visuell auf ihre Plausibilität überprüft. Dabei wurde festgestellt, dass alle von uns benötigten Auswertungen auf Ebene politischer Bezirke und Kleinproduktionsgebiete plausible Ergebnisse erbringen. Auswertungen auf Ebene von politischen Gemeinden sind grundsätzlich möglich, können aber kleinräumig und für bestimmte Kulturarten (z.B. Almflächen) zu Verzerrungen führen. Aussagen für einzelne Gemeinden können daher nur sehr bedingt gemacht werden. Die Auswirkungen eines statistischen Bruches – auf Grund einer Veränderung in der Erhebungsmethodik der Bodennutzungserhebung zwischen 1978 und 1983 auf eine Interpretation der Landnutzungsdaten – wurden eingehend analysiert. Relevante Verzerrungen treten nur bei einzelnen Landnutzungskategorien (z.B. extensives Grünland, Hofflächen, Hausgärten, Obstanlagen) auf.

¹¹ Siehe insbesondere Bringezu & al., 1997; Matthews & al., 2000.

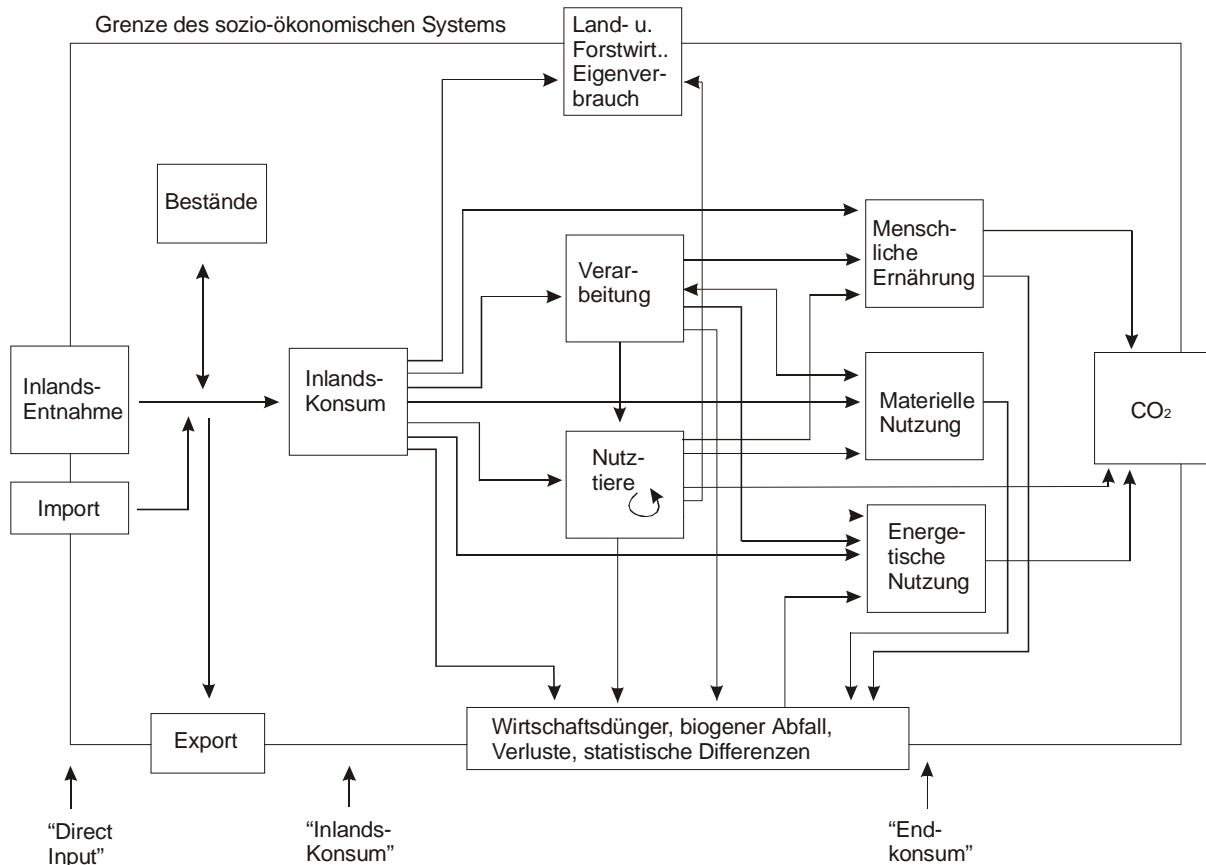


Abbildung 2. Das Biomasse-Material/Energie-Fluss-Modell im Überblick.

Quelle: Eigener Entwurf.

Die in Abbildung 2 dargestellten Flüsse sind für Österreich 1970, 1995 sowie für alle vier Szenarien für das Jahr 2020 auf Ebene von 15 Landnutzungsaggregaten, die aus den ca. 40 Kulturarten bzw. Feldfrüchten der BNE aggregiert wurden, als Trockensubstanz- und Energiefluss im Modell enthalten. Darüber hinaus liegen folgende Aggregationen vor (siehe Abbildungen im Anhang):

- „Holzwirtschaft“: Flüsse von Holz und anderer forstlicher Biomasse (Rinde).
- „Landwirtschaft“: Alle anderen Biomasseflüsse, d.h. Biomasse von Grasländern (Wiesen, Weiden, Almen) sowie aus dem Ackerbau.
- „Biomasse“: Alle Biomassearten aggregiert.

Die 12 Landnutzungs-Aggregate und die zwei Graslandaggregate werden in Tabelle 1 näher erläutert. Die Unterscheidung von "Brotgetreide" und "Futtergetreide" bezieht sich auf die in der Agrarstatistik übliche Klassifikation von Getreidesorten, nicht aber auf die tatsächliche Verwendung des Getreides (d.h. Weizen, der verfüttert wird, fällt unter die Bezeichnung "Brotgetreide").

R O L A N D
Themenheft "Biomasseinsatz und Landnutzung"

Tabelle 1. Aggregation der ca. 40 Kulturarten und Feldfrüchte der Bodennutzungserhebung zu 15 Landnutzungsaggregaten.

Feldfruchttaggregat	Kulturarten der Bodennutzungserhebung
Brotgetreide	Weizen (Winterweizen, Sommerweizen), Roggen (Winterroggen, Sommerroggen).
Futtergetreide	Gerste (Wintergerste, Sommergerste), Hafer, andere Getreide (Wintermenggetreide, Sommermenggetreide).
Körnermais	Körnermais.
Körnerfrüchte	Körnererbsen, Pferdebohnen, Sojabohnen, sonstige Hülsenfrüchte.
Silo-Mais	Silo-Mais, Grünmais.
Raps	Raps (Winterraps zur Ölgewinnung).
Sonnenblume	Sonnenblumenkerne.
Kartoffel	Frühkartoffel, Spätkartoffel.
Zuckerrübe	Zuckerrübe
Klee, Egarten	Rotklee, Klee gras, Luzerne, sonstiges Feldfutter, Egarten.
Ackerbrache	geförderte und nicht geförderte Ackerbrache.
Sonstige Feldfrüchte	Futtermöhren, Kohlrüben, Ananaserdbeeren, Heil- und Gewürzpflanzen, sonstiger Feldfutterbau, Handelsgewächse.
Gartenland	Weingärten, Obstgärten, Erwerbs- und Hausgärten
Wiesen und Weiden	Dauerwiesen mit einem Schnitt, Dauerwiesen mit zwei oder mehr Schnitten, Kulturweiden, Hutweiden, Streuwiesen.
Almen	Almen, Bergmähder.

Quelle: Eigene Überlegungen.

Zu berücksichtigen ist allerdings, dass sowohl im Import und Export, als auch nach der Umwandlung im Verarbeitungs- und Viehsektor (z.B. Produktion von Stärke aus Kartoffeln oder Getreide, Fleischproduktion aus Futtergetreide etc.) manche durchaus bedeutsamen Flüsse nicht mehr eindeutig einer bestimmten Kulturart zugerechnet werden können; d.h. bei disaggregierten Darstellungen ist der Fluss einer bestimmten Kulturart durch die Volkswirtschaft nur bis zu einem bestimmten Punkt zu verfolgen.

Im Folgenden werden die wesentlichen Module des Modells diskutiert.

Inlands-Konsum: Der Inlands-Konsum (=Inlandsverwendung) ergibt sich im Wesentlichen aus der oben beschriebenen Inlands-Entnahme und den Bereichen "Import", "Export" und "Bestände". Er besteht daher aus zwei Teilen: Der größere Teil besteht aus Flüssen, die aus der Inlands-Entnahme kommen und daher eindeutig den 15 Landnutzungsaggregaten zugeordnet werden können. Importe, Exporte und Bestandsveränderungen wurden ebenfalls, soweit möglich, diesen 15 Landnutzungsaggregaten zugeordnet. Flüsse von Produkten, bei denen eine eindeutige Zuordnung nicht möglich ist, z.B. den Produkten des Viehsektors (Fleisch, Milch etc.), wurden als alleinstehende Fraktionen geführt. Dasselbe galt auch für die Holzwirtschaft.

Aus dem Inlands-Konsum gibt es direkte Flüsse in die Endverbrauchsmodule "Land- und forstwirtschaftlicher Eigenverbrauch", "Menschliche Ernährung", "Materielle Nutzung" und "Energetische Nutzung" sowie in das Modul "Schwund/Abfälle" (=Wirtschaftsdünger, biogener Abfall, Verluste etc.) Weiters gibt es Flüsse in die beiden zentralen Module, in denen Biomasse-Umwandlungen stattfinden, nämlich "Verarbeitung" und "Nutztiere".

Modul "Verarbeitung": Innerhalb dieses Moduls finden Verarbeitungsschritte statt, bei dem Produkte und Kuppel- oder Nebenprodukte anfallen, die nicht nur in ein sondern in mindestens zwei Folgemodule (z.B. „Nutztiere“ und in Endverbrauchsmodule) fließen. Verarbeitungsschritte, deren Produkte und Kuppelprodukte ein und dem selben Endverbrauchsmodul zufließen, werden als direkte Inputs in dieses Modul gehandhabt und fließen nicht durch das Verarbeitungsmodul. Somit dient das Verarbeitungsmodul in erster Linie der Erlangung von Massen- bzw. Energiekonstanz. Die Einführung dieses Moduls ermöglicht es, wesentliche Datengrundlagen für die Ermittlung von Potenzialen für kaskadische Nutzung zu schaffen bzw. bereits stattfindende kaskadische Nutzungen sichtbar zu machen. Auch können so jene Biomasseflüsse in den Viehsektor konsistent und vollständig erfasst werden, für welche statistische Daten fehlen (z.B. Marktgängige Futtermittel aus Nebenerzeugnissen aus der Verarbeitung pflanzlicher Produkte, Hohenecker 1980).

ROLAND
Themenheft "Biomasseinsatz und Landnutzung"

Die wichtigsten agrarischen Produkte und Kuppelprodukte des Verarbeitungsmoduls, die berücksichtigt wurden, sind in Tabelle 2 dargestellt. Diese sind quantitativ die wichtigsten Aggregate, welche z.B. dem Futtersektor zufließen (Hohenecker 1980). Im Modell wurden die im Jahr 1995 gängigen Pfade der Kuppelproduktströme beibehalten (z.B. fällt bei der Gewinnung des Hauptproduktes Öl als Kuppelprodukt Extraktionsschrot an. Dieses kann energetisch genutzt werden, dient aber üblicherweise (im Jahr 1995) aufgrund des hohen Eiweißgehaltes dem Viehsektor als Input. Dieser letztere Pfad wurde auch für die Zukunftsszenarien beibehalten.

Tabelle 2: Verknüpfung der berücksichtigten agrarischer Rohstoffe mit Produkten und Kuppelprodukten im Verarbeitungssektor

<i>Input in Verarbeitungsmodul</i>	<i>Produkt</i>	"Endverbrauch"	<i>Kuppelprodukte</i>	<i>Verwendung (95)</i>
Brotgetreide	Mehl	menschl. Ernährung	Mühlennachprodukte	Viehsektor
Stärkeliefernde Pflanzen	Stärke, Alkohole	menschl. Ernährung, materielle Nutzung, energ. Nutzung	Pülpfen, Schlempen	Viehsektor
Ölpflanzen	Öle; RME	menschl. Ernährung, materielle Nutzung, energ. Nutzung	Extraktionsschrote/ Ölkuchen, Soapstock, Schalen, Phosphatide	Viehsektor energ. Nutzung materielle Nutzung
Zuckerrübe	Zucker u. Folgeprod.	menschl. Ernährung, materielle Nutzung	Trockenschnitzel, Melasse	Viehsektor
Braugerste	Bier	menschl. Ernährung	Treber, Malzkeime	Viehsektor
Weintrauben	Wein	menschl. Ernährung	Trester	Viehsektor

Quelle: Eigene Überlegungen.

Die Quantifizierung der Ausbeutekoeffizienten und die der anfallenden Kuppelprodukte erfolgte mittels einer Literaturrecherche.¹² Die Ausbeutekoeffizienten legen dabei die Relation zwischen dem Produkt (siehe z. B. Tabelle 2) und dem dafür notwendigen Input an Rohstoff in den Verarbeitungsprozess – bzw. den Anfall von Kuppelprodukten – fest. Die Nebenprodukte dieser Produktionslinien werden heutzutage zum größten Teil zu Futterzwecken dem Modul Nutztier zugeführt. Daneben sind aber auch andere Endverwendungen vorstellbar, z.B. energetischen Nutzung.

Bei den Verarbeitungsschritten fallen neben den verwertbaren Kuppelprodukten auch bis dato nicht fassbare oder verwertbare Abfälle an. Dazu zählen z.B. Abwasserfrachten oder flüchtige Substanzen. Diese scheinen unter anderem als Prozessschwund (Modul "Wirtschaftsdünger, biogener Abfall etc.") im Modell auf.

Holz gelangt fast zur Gänze in den Verarbeitungssektor. Ausnahmen sind hier das eigenverwendete Nutzholz der Land- und Forstwirtschaft und das direkt als Brennholz geerntete Holz. Als kaskadisch verwendetes Holz im eigentlichen Sinne wurde hier nur wiederverwertetes Abbruchholz betrachtet. Alle anderen "kaskadischen" Nutzungen der Sägenebenprodukte sind im engeren Sinne Kuppelprodukte und verbleiben daher im Verarbeitungssektor, bis sie dem Endkonsum, also z.B. als Papier, Bauholz, Spanplatten, Abfall-Brennholz, Ablaugeverbrennung etc., zugeführt werden.

Nutztiere: Das Modul Nutztier umfasst die gesamte tierische Produktion und damit die Umwandlung von (überwiegend) pflanzlicher in tierische Biomasse. In dieses Modul fließen Futtermittel direkt aus dem inländischen Aufkommen (also etwa Futtergetreide oder Heu sowie importierte Futtermittel wie Sojaschrot, Fischmehl), und Futtermittel, die im Verarbeitungsmodul als Kuppelprodukte anfallen (Mühlennebenprodukte, Ölkuchen, Zuckerrübenschnitzel, s.o.), darüber hinaus aber auch tierische Biomasse aus Importen. Im Jahr 1995 wurden etwa 42% des inländischen Aufkommens an Biomasse in diesem Modul umgesetzt.

¹² Siehe v.a. Alber 1992; Bayerische Akademie der Wissenschaften 1994; Bundesministerium für Ernährung 1992; BMLF 1998b; Graef et al. 1994; Hohenecker 1980; INARO 2000; Klass 1998; Knoflacher et al. 1991; Reinhardt 1993; Waskow 1998; Wereko-Brobby und Hagen 1996.

Aus dem Modul fließen tierische (Roh)Produkte die zur menschlichen Ernährung bestimmt sind (Milch, Eier, Fleisch) und Nebenprodukte in die materielle und energetische Nutzung. Ein wesentlicher Teil der im Modul Viehsektor umgesetzten Biomasse verlässt diesen als Fäkalien (Wirtschaftsdünger) und Kohlendioxid aus der Atmung.

Hinsichtlich des Moduls "*Menschliche Ernährung*" ist zu beachten, dass dieses hier "produktionsnah" zu verstehen ist, d.h. dass es sich um Produkte handelt, die für den menschlichen Verzehr bestimmt sind. Verluste bei der Lagerung, Verteilung und im Handel sowie Verluste bei der Zubereitung im Haushalt sind nicht berücksichtigt. Auch gewisse Verarbeitungsschritte, bei denen keine Kuppelprodukte anfallen (bzw. nicht quantifiziert werden konnten), wurden in dieses Verbrauchssegment integriert (z.B. Erzeugung von Tiefkühlgemüse, Kartoffelchips oder dergleichen).

3. Ergebnisse der Modellrechnungen für 1970 und 1995

Die im Anhang dargestellten Flussbilder (Abbildungen A1 bis A6) zeigen, dass die Inlandsproduktion von landwirtschaftlicher Biomasse im Jahr 1970 mit 18,97 Mt TM¹³ um 8 % höher war als jene des Jahres 1995 (17,52 Mt TM). Dafür war der Holzeinschlag 1970 um 41 % niedriger, sodass die Inlandsproduktion von land- und forstwirtschaftlicher Biomasse im Jahr 1970 mit 24,94 Mt TM deutlich unter jener des Jahres 1995 (27,68 Mt TM) lag.

In Abbildungen A1 und A4 wird vor allem auch die enorme Bedeutung der Nutztiere für die landwirtschaftlichen Biomasseflüsse deutlich: Etwa 79% der Inlandsverwendung an landwirtschaftlicher Biomasse fließen in diesen Sektor. Der Viehsektor ist mit einem Energieinput von 226 PJ/a (H_o) im Jahr 1995 nach der Raffinerie (Input 1994 424 PJ, H_u) der zweitgrößte Energieumwandlungssektor Österreichs, noch vor der Stromerzeugung in kalorischen Kraftwerken (Input 1994: 181 PJ H_u) (Darge 2001;¹⁴ E.V.A. 1997). Materielle und energetische Nutzung landwirtschaftlicher Biomasse gab es im Jahr 1970 praktisch nicht, zumindest soweit diese in der Statistik erfasst wurde. Es erscheint plausibel, dass es diese Nutzungswege damals tatsächlich kaum gab. Die energetische Nutzung von Biomasse insgesamt steigt von 2,36 Mt TM im Jahr 1970 auf 6,82 Mt TM im Jahr 1995, wobei davon ausgegangen werden muss, dass der Wert des Jahres 1970 auf Grund statistischer Untererfassungen der energetischen Biomassenutzung (vor allem Brennholz) zu niedrig ist (d.h. ein unter Umständen erheblicher Anteil dieses scheinbaren Zuwachses auf eine veränderte (genauere) statistische Erfassung zurückzuführen ist). Die materielle Nutzung von Biomasse steigt von 2,75 Mt TM im Jahr 1970 auf 3,52 Mt TM im Jahr 1995, wobei im Jahr 1995 etwa 0,26 Mt TM (ca. 7%) vom Ackerland stammen. Der Rest entfällt auf Holz und andere forstliche Biomasse wie z.B. Rinde.

¹³ Megatonnen Trockenmasse (TM), 1 Mt = 10⁶ t,

¹⁴ Die hier zitierte Diplomarbeit wurde aus Mitteln des vorliegenden Projekts gefördert.

4. Szenarien für Österreich 2020

4.1 Allgemeine Informationen zur Szenarioanalyse

4.1.1 Ziel der Szenarioanalyse

Die hier dokumentierten Szenariorechnungen verfolgen das Ziel, Zusammenhänge zwischen der Verwendung von Biomasse als Rohstoff und Energieträger und der Landnutzung aufzuzeigen. Wir simulieren unterschiedliche politische Strategien im Bereich der Agrar- und Energiepolitik und analysieren deren Auswirkungen auf die Landnutzung im Jahr 2020.

4.1.2 Definition der Szenarien

Eine umfassende Analyse der Rahmenbedingungen für die Verwendung von Biomasse als Rohstoff und Energieträger bis zum Jahr 2020 würde detaillierte technische, ökonomische sowie energie- und agrarpolitische Aspekte beinhalten und zu einer Vielzahl von Szenarien führen. Da dies im Rahmen dieses Projektes nicht möglich war, haben wir neben der "Business as usual" bzw. Trendentwicklung (TREND-Szenario) drei Szenarien definiert, welche auf grundlegend unterschiedlichen agrar-, umwelt- und energiepolitischen "Philosophien" basieren und die Bandbreite der möglichen Entwicklungen aufzeigen sollen:

- Maximierungsszenario (MAX-Szenario): hier wird ein massiver Nachfrageimpuls für nachwachsende Rohstoffe und Energieträger angenommen, der zu einer maximalen Ausnutzung der heimischen Holzproduktion sowie zu einer möglichst großen Ausweitung der Ackerfläche führt.
- Nachhaltigkeits-Szenario (SUST-Szenario): hier wird das Ziel einer schonenden Inanspruchnahme natürlicher Ressourcen verfolgt, das heißt keine weitere Primärentnahmen von Biomasse im Vergleich zum TREND-Szenario aber dafür verstärkte kaskadische Nutzung von Biomasse.
- Liberalisierungs-Szenario (GLOB-Szenario): In diesem Szenario wird unterstellt, dass die Märkte für land- und forstwirtschaftliche Produkte großteils liberalisiert werden und Agrarförderungen bzw. sogenannte „Leistungsabgeltungen“ (ÖPUL-Maßnahmen etc.) deutlich reduziert werden. Dies führt zu einem Rückgang der heimischen Produktion in den Bereichen, die unwirtschaftlich sind, zu einer Ausweitung in jenen Bereichen, die konkurrenzfähig sind, sowie zu einer Steigerung der Netto-Importe.

Diese Szenarien spannen einen Möglichkeitsraum auf und sind nicht als Prognose zu verstehen. Die Wahrscheinlichkeit, mit denen ein Szenario eintreffen könnte, ist heute schwer anzugeben. Das TREND-Szenario unterstellt eine Fortsetzung der Trends der letzten Jahre und Jahrzehnte in die Zukunft. Ob dies der wahrscheinlichste Fall ist, muss offen bleiben:

- Das GLOB-Szenario unterstellt eine weitgehende Öffnung der Agrarmärkte – eine Entwicklung, die zwar im Rahmen des Denkbaren erscheint, aber möglicher Weise in der EU nicht in der hier angenommenen Schärfe eintreten wird.
- Das MAX-Szenario nimmt eine Politik der massiven Steigerung des Einsatzes von Biomasse vor allem für die Energiegewinnung an. Dies mag zwar heute visionär erscheinen, könnte aber unter gewissen Konstellationen (höhere politische Bedeutung des Klimaschutzes, intensives Lobbying des Landwirtschaftsvertreter, massive Erhöhung der Ölpreise) in anderem Licht erscheinen.
- Das SUST-Szenario modelliert eine Strategie zur Erhöhung der Effizienz der Biomassenutzung durch "kaskadische" Nutzung von Biomasse (Haberl und Geissler 2000). Dieses Szenario erscheint heute visionär, könnte aber etwa im Fall einer höheren Bedeutung von Zielen wie der Erhaltung der Biodiversität sowie einer generelleren Orientierung am Ziel einer nachhaltigen Entwicklung Bedeutung erlangen. Trotz seines Namens ist es nicht als Szenario zu verstehen, in dem Österreich 2020 als „nachhaltig“ verstanden werden kann – dies ist durch Maßnahmen alleine im Bereich Landnutzung und Biomassenutzung auch gar nicht erreichbar, sondern erfordert einen umfassenderen Ansatz. Das SUST-Szenario beinhaltet bestenfalls einige Elemente einer Nachhaltigkeits-Strategie. Der Name dient vor allem der prägnanten Charakterisierung des Szenarios.

Für diese drei vom TREND-Szenario abweichenden Szenarien wurden unterschiedliche Annahmen hinsichtlich stofflicher und energetischer Nutzung nachwachsender Rohstoffe, Intensität der Landnutzung (Erträge, Intensität der Holznutzung usw.) sowie der zur Verfügung stehende Land- und forstwirtschaftliche Flächen (Ackerbrache, Grünland, etc.) getroffen. Die Erstellung der Szenarien wurden durch den Umstand erheblich erschwert, dass es derzeit keine offiziellen Prognosen zur Entwicklung der Landnutzung sowie des Agrarsektors in Österreich gibt. Vorhandene Studien über die möglichen Auswirkungen der CAP (Common Agricultural Policy der EU) auf Länderebene reichen nur bis zum Jahr 2006 (BMLF 2000a; Europäische Kommission 1997; Europäische Kommission 2000; European Commission 2000a; European Commission 2000b). Wir konnten daher das TREND-Szenario in Bezug auf die Entwicklung der Flächennutzung leider nicht auf offizielle Prognosen stützen.

Für die Szenariorechnungen waren neben der Entwicklung der Nachfrage nach nachwachsenden Rohstoffen und Energieträgern und den ackerbaulichen und forstwirtschaftlichen Rahmenbedingungen auch Abschätzungen der Bevölkerungsentwicklung, der Entwicklung von Siedlungs- und Verkehrsflächen und der Entwicklung der Nutztierhaltung bis 2020 notwendig, die in allen Szenarien mehr oder weniger konstant gehalten wurde, weil der Schwerpunkt der Arbeiten in diesem Projekt auftragsgemäß auf anderen Themen (nachwachsende Rohstoffe, Biomasse-Energie) lag. Lediglich im GLOB-Szenario wurden für den Bereich Tierhaltung wegen der in diesem Fall zu erwartenden massiven ökonomischen und agrarstrukturellen Veränderungen für diesen Bereich abweichende Annahmen getroffen.

Die Szenariorechnungen wurden mit Hilfe des in Kapitel 2 dokumentierten Modells erstellt. Mit diesem Modell wird die Konsistenz zwischen Biomasseinputs (inländische Produktion, Import/Export-Bilanz) und Biomassenachfrage gesichert.

4.1.3 Räumliche Basiseinheiten der Szenarioanalyse

Sämtliche Flächenprognosen werden auf Ebene der landwirtschaftlichen Hauptproduktionsgebiete (HPG, n=8) gerechnet (Wagner 1990); diese Ergebnisse wurden auf Ebene der Kleinproduktionsebene (KPG, n=87) heruntergebrochen. Eine Karte mit den Hauptproduktionsgebieten findet sich in Abbildung 3. Die Berechnungsgrundlagen und Annahmen zu den drei Szenarien werden im folgenden näher erläutert.

Landwirtschaftliche Haupt- und Kleinproduktionsgebiete in Österreich

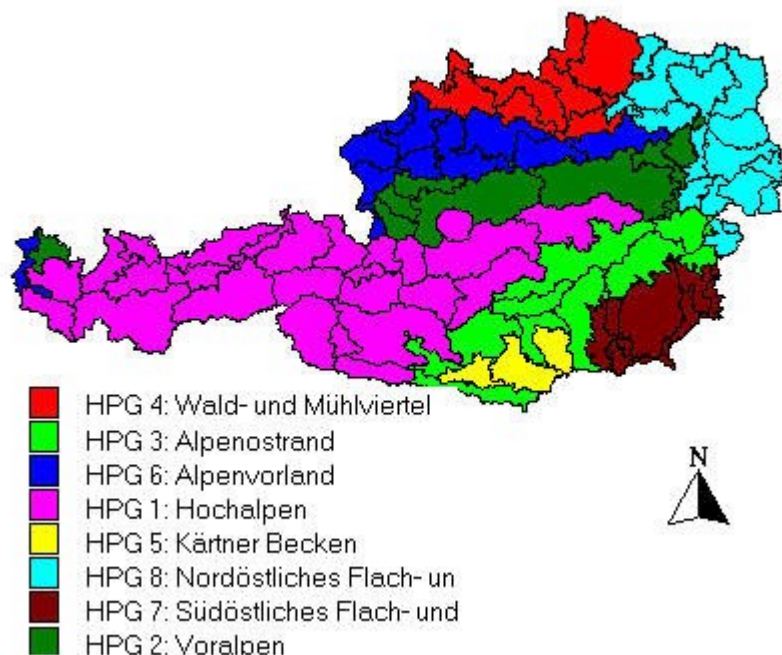


Abbildung 3: Aufteilung des österreichischen Bundesgebietes in Hauptproduktionsgebiete (farbige Flächen) und Kleinproduktionsgebiete (schwarze Gebietsgrenzen).

Quelle: Wagner 1990.

4.1.4 Flächennutzung im Basisjahr 1995

Folgende Flächennutzungskategorien werden im Folgenden unterschieden:

- Siedlungs- und Verkehrsflächen
- Ackerland und Gartenland (Ackerfrüchte, Ackerbrache, Obst-, Wein- und Hausgärten)
- Grünland und Almen (Wiesen, Weiden, Hoch-, Mittel- und Niederalmen)
- Wald
- Sonstige Flächen (Gewässerflächen und Ödland)

Die Siedlungs- und Verkehrsflächen wurden aus den vom UBA für den 6. Umweltkontrollbericht verwendeten Primärdaten (Petz 2001; Petz pers. Komm.) des UBA abgeleitet.¹⁵ Diese Daten liegen auf Ebene von Bezirken vor und wurden von uns über den Anteil der HPGs am Dauersiedlungsraum jedes Bezirkes auf Ebene der HPGs aggregiert. Dies kann zu geringfügigen Verzerrungen führen; die Österreichsumme bleibt dabei jedenfalls konsistent.

Die landwirtschaftlich genutzte Fläche (Ackerland, Gartenland Wiesen und Weiden) wurde der Agrarstrukturerhebung 1995 entnommen.¹⁶ Almflächen laut Agrarstrukturerhebung 1995 wurden gemäß der prozentualen Aufteilung der Almflächen auf Hoch-, Mittel- und Niederalmen laut Almerhebung 1986 in diese drei Kategorien aufgeteilt.¹⁷

Der Wald wird als Restfläche des jeweiligen HPG (d.h. Fläche unterhalb der Waldgrenze minus Siedlungsraum minus Almen minus Wiesen und Weiden minus Ackerfläche minus sonstige Flächen ermittelt. Die Österreichsumme des Waldes, die sich durch diese Methode ergibt, ist mit der

¹⁵ Von Petz wurden in diesem Zusammenhang alle verfügbaren statistischen Quellen die Daten zur räumlichen Verteilung von Gebäude und Verkehrsflächen enthalten ausgewertet (Grundstückskataster, Grundstücksdatenbank, Häuser- und Wohnungszählung).

¹⁶ Die Ergebnisse der Agrarstrukturerhebung 1999 wurden von Statistik Austria erst nach Abschluss der empirischen Arbeiten in diesem Projekt veröffentlicht.

¹⁷ Diese Aufteilung der Almen nach Höhenstufen ist zur Ermittlung der Waldfläche als Restfläche erforderlich (siehe unten).

österreichischen Forstinventur 86/90 (Schieler et al. 1996) sehr gut konsistent (Abweichung kleiner als 100 km², das sind 0,3% der Waldfläche). Auf regionaler Ebene ergeben sich allerdings z.T. beträchtliche Abweichungen, die trotz erheblicher Anstrengungen nicht bereinigt werden konnten.¹⁸

Neben den Siedlungs- und Verkehrsflächen, den landwirtschaftlich genutzten Flächen und der Waldfläche gibt es noch Gewässerflächen und nicht genutzte Flächen oberhalb der Baumgrenze. Diese Flächen werden im Prognosezeitraum konstant auf dem Niveau des Jahres 1995 gehalten. Sie sind in den entsprechenden Tabellen als „sonstige Flächen“ angeführt.

4.2. Das TREND-Szenario

Wie bereits erwähnt, gibt es keine offizielle Prognose für die Entwicklung der Landnutzung in Österreich für die nächsten 20 Jahren. Verfügbar sind Einschätzungen des WIFO über die möglichen Folgen der EU-Osterweiterung auf den Landwirtschaftssektor (Schneider 2000a; Schneider 2000b); diese beziehen sich allerdings vorwiegend auf ökonomische Aspekte, sowie nur auf Produktgruppen, nicht auf die Entwicklung der Flächen sowie der Erträge und führen somit nur zu qualitativen Aussagen in Bezug auf die für uns wesentlichen Fragen (Produktionsmengen, Flächen).

Auch eine Sichtung der wissenschaftlichen Literatur erbrachte keine verwendbaren Aussagen. Es gibt zwar einige Prognosen (vgl. Bork et al. 1995; Latesteijn 1998; MacDonald et al. 2000; Netherlands Scientific Council for Government Policy 1992; Prieler et al. 1998); diese wurden jedoch für anderen Regionen erstellt und können nicht auf Österreich umgelegt werden.

Wir stützten daher die Entwicklung des TREND-Szenarios auf die folgenden Annahmen, die wir aus wissenschaftlichen Publikationen und einer Reihe an telefonischen und persönlichen Expertengesprächen gewonnen haben.

Wir gehen im TREND-Szenario davon aus, dass die grundsätzliche Linie der österreichischen Agrarpolitik, also das Bemühen um eine Aufrechterhaltung einer flächendeckenden Landbewirtschaftung und einer Erhaltung einer klein- und mittelbetrieblichen Betriebsstruktur, fortgeführt wird (vgl. etwa BMLFUW 2001). Diese Politik, die für die österreichische Agrarpolitik der zweiten Republik in ihrem grundlegenden Bestreben charakteristisch ist, versucht soweit wie möglich den allgemein in Europa erkennbaren Tendenzen einer zunehmenden Industrialisierung der Landbewirtschaftung auf besten Standorten und einer Aufgabe der Nutzung auf Grenzertragsstandorten entgegenzuwirken.

Die gegenwärtige Struktur von Landnutzung und landwirtschaftlichen Betrieben – d.h. die im Vergleich zu anderen mitteleuropäischen Ländern geringe durchschnittliche Betriebsgröße, die geringe durchschnittliche Größe von Ackerschlägen, hohe Anzahl von biologisch wirtschaftenden Betrieben, geringe durchschnittliche Intensität der Bewirtschaftung etc. – ist unter anderem auf dieses Bemühen der österreichischen Agrarpolitik zurückzuführen. Im allgemeinen wurde von den befragten Experten diese grundsätzliche Annahme bestätigt, allerdings ist die tatsächliche Umsetzbarkeit einer derartigen Politik stark von der weiteren Entwicklung EU-Agrarpolitik und dem innerhalb der EU-Agrarpolitik möglichen Gestaltungsspielraum für Österreich abhängig (vgl. Anonymous 1997; Greif 1998;

¹⁸ Die Unterschiede betreffen vor allem das langgestreckte HPG "Voralpen", in dem laut unserer Methode etwa 2000 km² Wald mehr liegen als laut einer Umrechnung der Forstinventur-Daten (die auf Ebene von Forstbezirken vorliegen) auf HPGs. Das HPG „Voralpen“ weist lange Grenzen zum nördlich davon gelegenen HPG "Wald- und Mühlviertel" und dem südlich davon gelegenen HPG "Alpenvorland" auf. Die Forstinventurdaten sind allerdings nur auf Ebene von Forstbezirken verfügbar, die nicht zu HPGs aggregiert werden können, sondern nur näherungsweise auf diese umgelegt werden können. Wir können daher nicht sagen, welche der beiden Hypothesen zur Erklärung der Abweichungen zutrifft: (1) Die Umrechnung der Forstinventurdaten von Forstbezirken zu HPGs erzeugt eine Ungenauigkeit, d.h. unsere Daten sind korrekt und die Umrechnung ist falsch, (2) das Wirtschaftsprinzip erzeugt über die lange Grenze hinweg einen systematischen Fehler, d.h. unsere Daten weisen einen Fehler auf und die Umrechnung Forstbezirke/HPGs ist einigermaßen korrekt. Durch das Wirtschaftsprinzip werden bei der Bodennutzungserhebung der Statistik Österreich Flächen der Gemeinde zugeordnet, in denen der sich Betriebsstandort befindet, und damit nicht unbedingt der Gemeinde, in der sie tatsächlich liegen. Denkbar ist auch, dass beide Fehlerquellen zu einem gewissen Grad eine Rolle spielen. Eine Erhöhung der Genauigkeit in diesem regionalen Detail würde hier erhebliche weitere Arbeiten erfordern, die den Rahmen dieses Projekts sprengen würden.

Hofreither 1995; Österreichische Gesellschaft für kritische Geographie (ÖGKG) 1999; Penz 1997; Penz 1996; Schneider und Hofreither 1988; Zanetti 1999).¹⁹

Die konkret getroffenen Annahmen werden in den folgenden Unterkapiteln im Detail diskutiert.

4.2.1 Siedlungs- und Verkehrsflächen, sonstige Flächen

Die Prognose für die Entwicklung der Siedlungs- und Verkehrsflächen im TREND Szenario erfolgte auf Basis einer von Dipl.-Ing. Christian Petz (*pers. Komm.*) am Umweltbundesamt (UBA) durchgeführten Analyse, bei der aus allen räumlich disaggregiert vorliegenden Daten²⁰ Trends für die Entwicklung der Siedlungs- und Verkehrsflächen der letzten Jahre und Jahrzehnte abgeleitet wurden (vgl. Petz 2001). Im Hinblick auf die aktuelle Entwicklung geht das UBA von einem Zuwachs der Siedlungsfläche von 10 bis 20 ha pro Tag und für Verkehrsflächen von 5,6 ha aus.

Zur Prognose der Siedlungsfläche im TREND-Szenario schreiben wir die unteren von Petz angegebenen Zuwachsraten (konservative Annahme, jährliche zusätzliche Flächeninanspruchnahme für Siedlung und Verkehr von knapp 5.700 ha) bis zum Jahr 2020 fort (siehe Tabelle 3).

Die Siedlungs- und Verkehrsflächen gemäß dieser Prognose gelten für alle Szenarien gleichermaßen, d.h. wir haben keine Veränderungen dieser Entwicklung in verschiedenen Szenarien modelliert.

Die sonstigen Flächen wurden in allen Szenarien konstant gehalten.

4.2.2 Ackerland, Gartenland, Grünland, Almen und Wald

Die Flächen für Ackerland, Grünland und Wald im Jahr 2020 wurde für die 8 HPGs auf Basis einer Trendfortschreibung der Daten aus den verfügbaren Bodennutzungserhebungen (Vollerhebungen) im Zeitraum 1969 bis 1995 prognostiziert.²¹

Die Entwicklung von Ackerland und Grünland wurde auf Ebene der 8 HPGs ab 1969 mit Hilfe von Sättigungskurven der Form

$$f(t) = k * (1 - e^{-t})$$

fortgeschrieben. Dabei ergaben sich die in Abbildung 4 und Abbildung 5 beispielhaft dargestellten Korrelationen bzw. Fortschreibungen.

Für Gartenland und Almen, und in Fällen in denen bei Wiesen und Weiden oder das Ackerland kein plausibler Trend feststellbar ist (siehe Abbildungen 4 und 5, HPG7 – Südöstliches Flach- und Hügelland – bei Ackerflächen, HPG1 – Hochalpen – bei den Wiesen), wurde der Mittelwert der jeweiligen Fläche in den Jahren 1986, 1990 und 1995 als Wert für 2020 angesetzt. Da angenommen werden muss, dass die Siedlungsfläche auf Kosten des Ackerlandes und der Wiesen und Weiden ausgeweitet wird, muss der Rückgang von Ackerland, Wiesen und Weiden in den HPGs mindestens gleich groß sein wie der Zuwachs der Siedlungsflächen. Wo dies nicht der Fall war, wurden Ackerland und Grünland entsprechend (anteilig) reduziert.

¹⁹ Für Auskünfte danken wir: Prof.Dr. Matthias Schneider (WIFO), Dr. Martin Kniepert (Univ.f. Bodenkultur), Dr. Josef Krammer (Bundesanstalt für Bergbauernfragen), Dipl.-Ing. Klaus Wagner (Bundesanstalt für Agrarwirtschaft), Mag. Gerhard Zanetti (ÖIR, ÖROK), Dipl.-Ing. Thomas Dax (Bundesanstalt für Bergbauernfragen).

²⁰ Häuser- und Wohnungszählung der Statistik Österreich, Grundstücksdatenbank, Katasterdaten

²¹ Die Ergebnisse der Agrarstrukturerhebung 1999 wurden von der Statistik Austria erst nach Abschluss der empirischen Arbeiten in diesem Projekt veröffentlicht.

ROLAND

Themenheft "Biomasseeinsatz und Landnutzung"

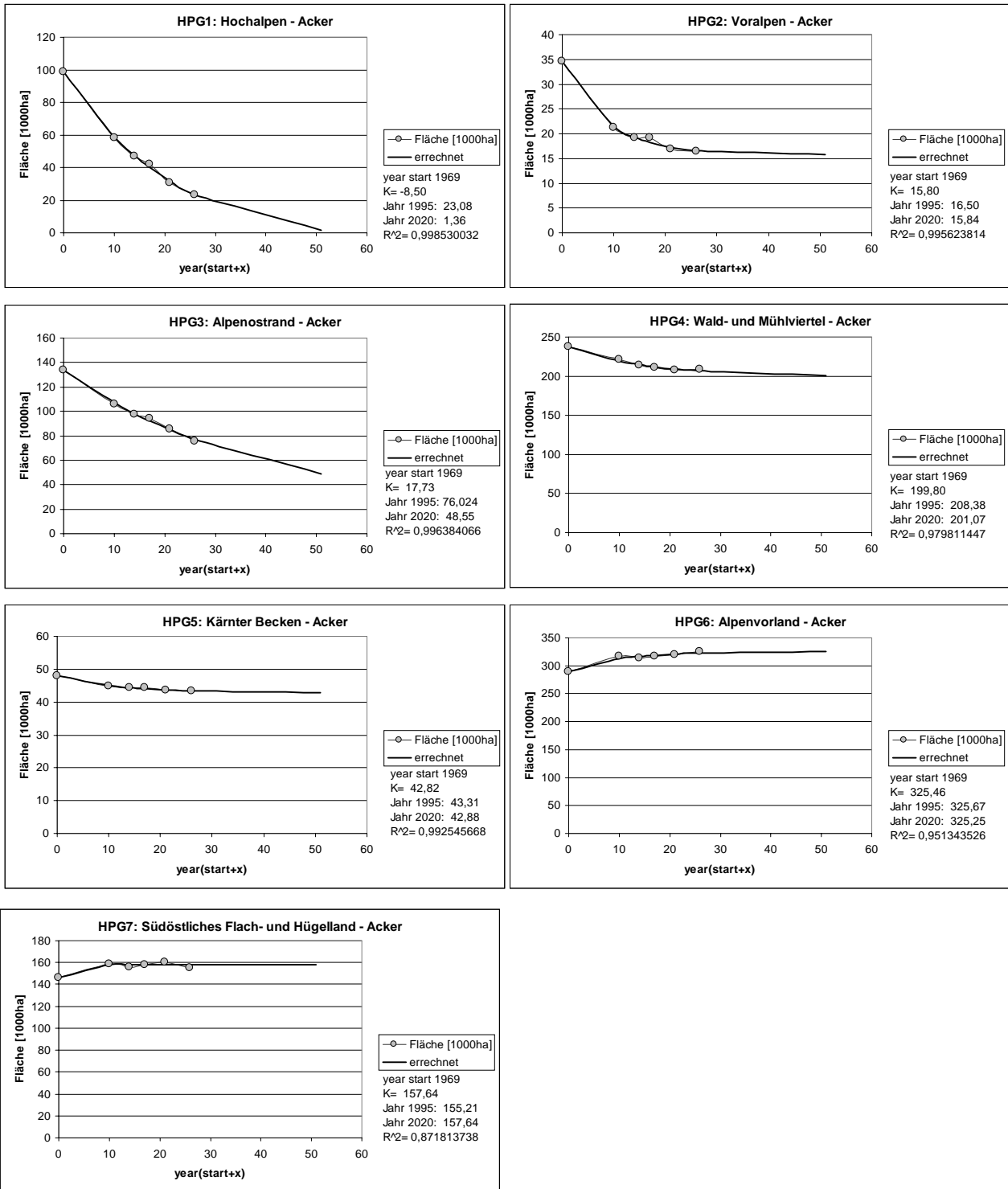


Abbildung 4. Fortschreibung des Ackerlandes in den Hauptproduktionsgebieten auf Basis von Sättigungskurven. Für das HPG8 (Nordöstliches Flach- und Hügelland) brachte die Fortschreibung kein plausibles Ergebnis.

Quelle: Eigene Berechnungen auf Basis der Bodennutzungserhebung.

ROLAND
Themenheft "Biomasseeinsatz und Landnutzung"

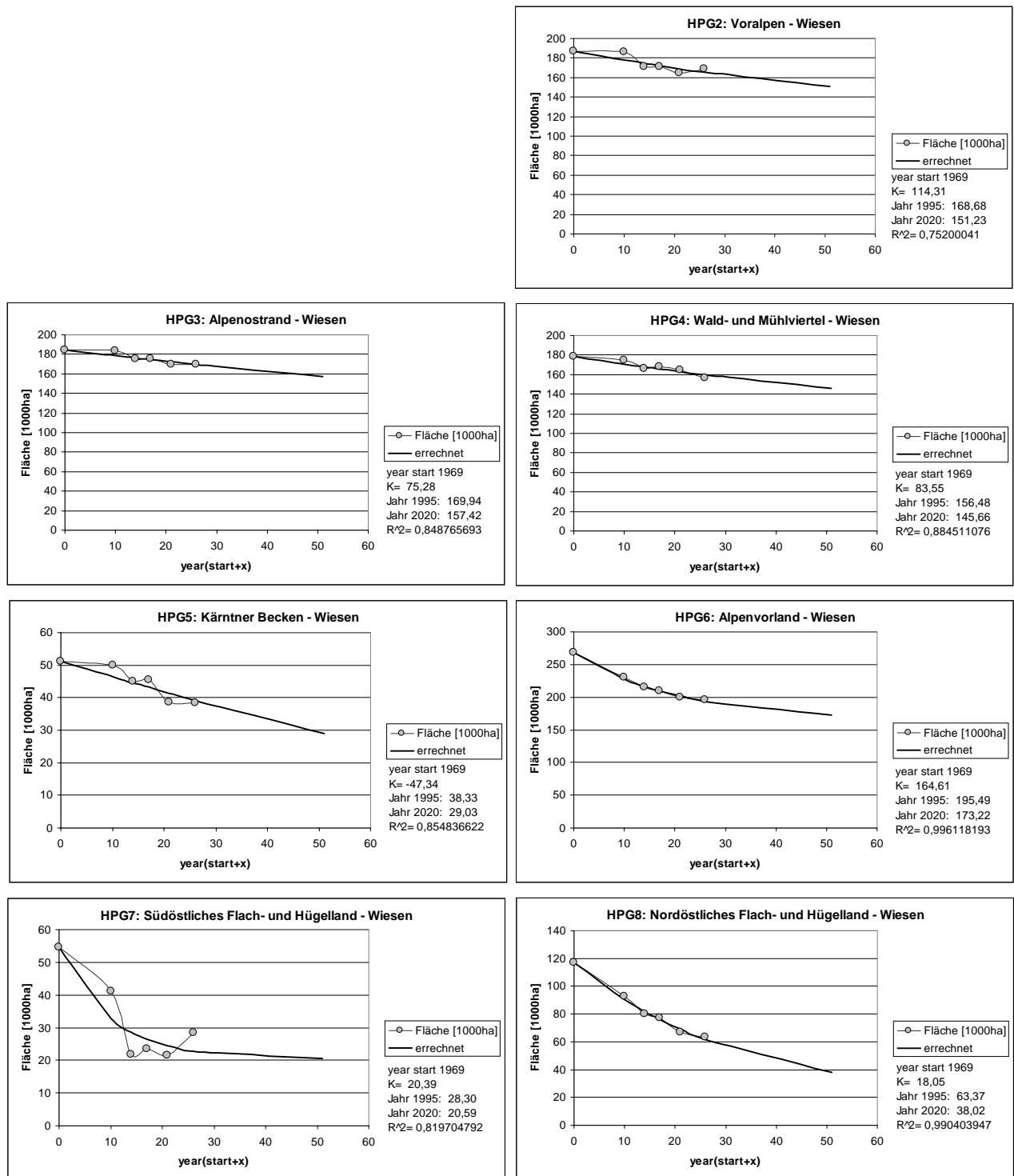


Abbildung 5. Fortschreibung des Grünlandes in den Hauptproduktionsgebieten auf Basis von Sättigungskurven. Für das HPG1 (Hochalpen) brachte die Fortschreibung kein plausibles Ergebnis.

Quelle: eigene Berechnungen auf Basis der Bodennutzungserhebung.

Unter Berücksichtigung der Siedlungsfläche (s.o.) ergibt sich dann die Waldfläche als Differenz zwischen der Summe aus Siedlungs-, Acker- und Grünlandfläche und der unterhalb der Waldgrenze gelegenen Fläche des jeweiligen HPG ("Restflächenmethode"):

Waldfläche = Fläche HPG unter Waldgrenze – (Fläche von Siedlung, Acker, Grünland, Gartenland und sonstige Flächen)

4.2.3 Fortschreibung der Flächennutzung im TREND-Szenario

Diese in den vorangegangenen Unterkapiteln beschriebene Vorgangsweise erbrachte das in Tabelle 3 dargestellte Ergebnis. Insgesamt nimmt demnach die Siedlungsfläche von 3.967 auf 5.191 km² (+31%) zu, die Ackerfläche nimmt um 984 km² (-7%) ab, das Grünland um 1.233 km² (-13%). Die Waldfläche nimmt um 1.032 km² (+3%) zu. Die Flächenentwicklung in den einzelnen HPGs ist in Tabelle 12 ersichtlich.

Tabelle 3. Aggregiertes Ergebnis der Flächenprognose im TREND-Szenario

	Fläche 1995 [km ²]	Fläche TREND 2020 [km ²] / [Veränderung %]
Siedlungsfläche	3.967	5.191 +31%
Grünland	11.131	9.898 -13%
Almen	8.525	8.616 +1%
Gartenland	833	761 -9%
Ackerland	13.837	12.853 -7%
Wald	38.400	39.375 +3%
Gewässerflächen/Ödland	7.164	7.164 0%
Gesamtfläche	83.859	83.859

Quellen: Petz / UBA (Siedlungsfläche), eigene Berechnungen (vgl. Text).

Der Trend zur Verwaldung Österreichs dürfte sich dem zu Folge gegenüber der Vergangenheit etwas verlangsamen; der Verlust an Ackerland und Grünland setzt sich fort, ebenso der Zuwachs der Siedlungsflächen. Zu betonen ist, dass dieses Szenario nur unter der Annahme einer Fortsetzung der gegenwärtigen Agrarpolitik, die vor allem das In-Nutzung-Halten von Ackerflächen und Grünland fördert, realistisch ist. Eine drastische Verringerung der Landwirtschaftsförderungen hätte deutlich andere Folgen (siehe GLOB-Szenario).

4.2.4 Ertragsprognose

Bei der Erstellung der Ertragsprognose wurde davon ausgegangen, dass die moderaten Steigerungen der Erträge der letzten zwei Jahrzehnte ebenfalls in Form einer Sättigungsfunktion weiter gehen werden. Diese Form der Modellierung unterstellt, dass es morphologische und physiologische Grenzen für die Erträge im Pflanzenbau gibt (daher die mathematische Form der Kurve) und dass in Österreich in den nächsten 20 Jahren keine massiven ökonomischen oder züchterischen Anstrengungen zur Maximierung der Erträge unternommen werden (daher die Annahme einer Fortsetzung der sehr gemäßigten Ertragstrends der letzten Jahre). Diese Annahme folgt vor allem auch daraus, dass ein Programm zur Erhöhung der Erträge dem Ziel der Erhaltung einer flächendeckenden Landbewirtschaftung entgegenlaufen würde, weil eine stärkere Erhöhung der Erträge bei etwa gleichbleibender oder sogar sinkender Nachfrage zu einer starken Abnahme der bewirtschafteten Flächen führen würde. Im GLOB-Szenario werden dazu abweichende Annahmen getroffen, weil in diesem Fall auf Grund einer Veränderung der ökonomischen Anreizstruktur eine stärkere Ausschöpfung des Ertragspotenzials zu erwarten wäre. Abbildung 6 zeigt beispielhaft die Sättigungskurven der Ertragsprognose für Brotgetreide, Futtergetreide, Körnermais und Zuckerrübe.

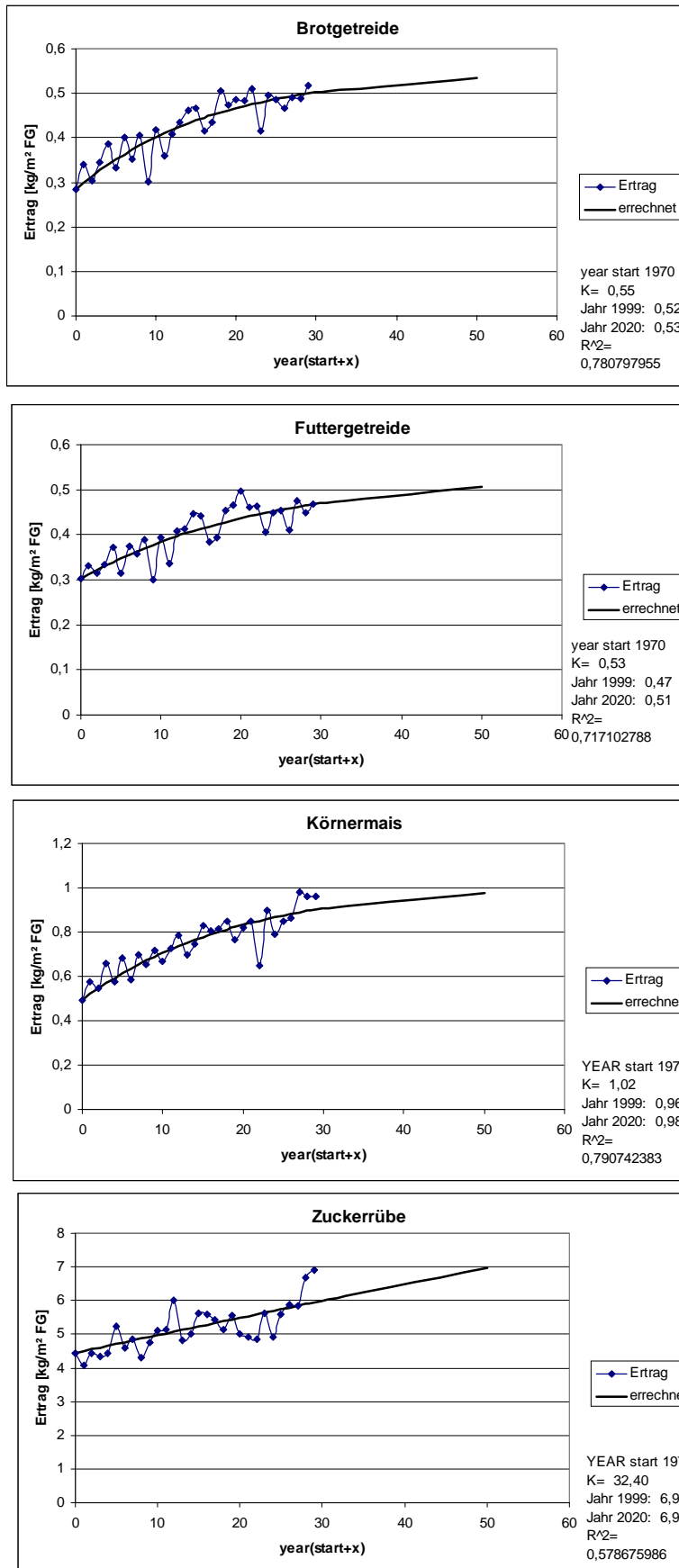


Abbildung 6. Beispielhafte Darstellung der Ertragsprognosen für vier Feldfruchtaggregate.
Quelle: eigene Berechnung auf Basis der Österreichweiten Durchschnittserträge 1970 bis 1999 laut Erntestatistik (Statistik Österreich).

Die Naturalerträge der 15 Landnutzungsaggregate (siehe Tabelle 1) für das Jahr 2020 werden auf Basis der durchschnittlichen Erträge auf Bundesebene für den Zeitraum 1970 bis 1999 über eine Sättigungsfunktion ermittelt (siehe Abbildung 6). Liegen die errechneten Erträge für 2020 unter dem Mittelwert der letzten 5 Jahre, so wird das gegenwärtige 5-Jahresmittel verwendet. Im allgemeinen ergeben sich geringfügige Ertragssteigerungen (zwischen 5% und 10% bis 2020).²² Das bedeutet, dass die theoretisch erzielbaren Erträge bei weitem nicht ausgeschöpft werden. Dies entspricht auch der derzeitigen österreichischen Agrarpolitik, die auf eine Erhaltung der kleinbäuerlichen Agrarstruktur mit Förderung einer extensiven Landbewirtschaftung abzielt (BMLFUW 2001).

Diese Ertragsprognose wurde sowohl für das TREND-Szenario, als auch für das MAX-Szenario (s.u.) unterstellt. Im SUST-Szenario und im GLOB-Szenario wurden teilweise abweichende Annahmen getroffen.

Tabelle 4. Ertragsprognosen für die 15 Landnutzungsaggregate im TREND- und im MAX-Szenario

	5-Jahresmittel 1993-1997 [kg/m ² FG]	Ertragsprognose 2020 [kg/m ² FG]
Brotgetreide	0,47	0,53
Futtergetreide	0,44	0,51
Körnermais	0,88	0,98
Silomais	4,45	4,68
Kartoffel	2,67	2,90
Zuckerrübe	5,57	6,98
Raps	0,25	0,30
Sonnenblume	0,23	0,24
Klee etc.	0,79	0,84
Wiesen	0,67	0,68

Quellen: Eigene Berechnung auf Basis von Daten der Statistik Austria.

4.2.5 Verhältnis der Kulturarten am Ackerland

Bei der Prognose des Verhältnisses der Feldfruchtaggregate (siehe Tabelle 1) am Ackerland wurde in zwei Schritten vorgegangen.

In einem *ersten Schritt* wurde aufgrund der von Statistik Österreich veröffentlichten Daten der mittlere Anteil jedes der 12 Feldfruchtaggregate an der Ackerfläche in den Jahren 1986 bis 2000 ermittelt. Diese mittleren Anteile wurden herangezogen um das in Tabelle 3 ausgewiesene Ackerland auf die einzelnen Feldfruchtaggregate aufzuteilen. Dahinter steht die implizite Annahme, dass eine Ausweitung der Fläche von Produktionsalternativen und Brache auf Kosten der klassischen Feldfrüchte nicht weiter voranschreitet. Diese Annahme stützt sich auf eine Analyse der Entwicklung auf Bundesebene bis 2000: Der Anbau von sogenannten Produktionsalternativen (Ölfrüchte, Körnerfrüchte) erreichte Mitte der 1990er Jahre einen Höhepunkt, seither sind die Anbauflächen dieser Feldfrüchte deutlich zurückgegangen, die Ackerbrache wurde im Gegenzug ausgeweitet.

Mit diesen Annahmen über Anbauflächen und Erträge wurde die Inlands-Entnahme der 12 Feldfruchtaggregate für 2020 ermittelt, wobei folgende Effekte beobachtet wurden:

1. Auf Grund des im TREND-Szenario angenommenen Zuwachses der Produktion von Rapsmethylester (RME) in Österreich (s.u.) wären die Flächen für Ölfrüchte zu gering gewesen, um den heimischen Bedarf zu decken (es fehlten ca. 30.000 ha Fläche für Ölsaaten).
2. Durch die Steigerungen der Produktion von Futter- und Brotgetreide wäre es zu einer Zunahme der Netto-Getreideexporte von 100.000 t im Jahr 1995 auf 600.000 t im Jahr 2020 gekommen, was sehr unplausibel wäre (Schneider 2000b).

²² Die Ertragsprognosen spiegeln die um 2020 zu erwartenden mehrjährigen Durchschnittserträge und keine „Ertragsspitzen“ wieder.

Daher wurden die oben beschriebenen Annahmen in einem *zweiten Schritt* revidiert: Die Fläche an Ölsaaten (2/3 Raps, 1/3 Sonnenblume) wurde zu Lasten der Getreideflächen ausgeweitet. Die Getreideflächen wurden zu Gunsten der Branche weiter reduziert. Die sich daraus ergebende Brachfläche ist etwa gleich groß wie jene des Jahres 2000. Das Importvolumen für pflanzliche Öle wurde konstant gehalten.

4.2.6 Umwandlungsmodul „Nutztiere“

Dieses Modul des Modells wurde an den Nachfragesektor „menschliche Ernährung“ gekoppelt, d.h. wir unterstellten den gleichen Zuwachs (+3,5% im Jahr 2020 gegenüber 2000) wie bei der Bevölkerung (s.u.). Eine Ausnahme stellt der Bereich der Rinderhaltung dar. Bei der Rinderhaltung (insbesondere der Milchproduktion) nehmen wir an, dass diese vor allem über die Fläche von Wiesen und Weiden reguliert wird, d.h. die Anzahl der Rinder wurde parallel zur Entwicklung der Fläche von Wiesen und Weiden variiert. Die Veränderung in der Erzeugung von tierischen Produkten werden über Veränderungen in den Nettoimporten bzw. Nettoexporten ausgeglichen.

Auf Grund der Gefahr der Übertragung von BSE durch die Verfütterung von Tiermehl wurde angenommen, dass es zu einem dauerhaften Verbot der Verfütterung von Tiermehl kommt. Als Entsorgungsweg für jährlich 95.000 t Tiermehl bzw. tierische Fette wurde die Verbrennung in EVU-Kraftwerken angenommen (s.u.), was angesichts der erheblichen Heizwertes tierischer Abfallprodukte eine substantielle Energiemenge (ca. 2,5 PJ Brennstoff pro Jahr) liefert. Es ist darauf hinzuweisen, dass es sich dabei um einen Entsorgungsweg von biogenem Material handelt; diese Stromproduktion sollte unserer Einschätzung nach jedenfalls nicht als „Ökostrom“ im Sinn des EIWOG gelten und in die entsprechende Quote eingerechnet werden. Gleichzeitig kommt es zu einer entsprechenden Erhöhung der Importe an Eiweißfuttermitteln, die allerdings je nach den Annahmen hinsichtlich Anbau von Ölsaaten (die als Nebenprodukt Extraktionsschrote liefern, die als Eiweißfuttermittel verwendet werden können) in den verschiedenen Szenarien variieren.

4.2.7 Nachfragemodul „Menschliche Ernährung“

Dieses Nachfragemodul wurde gemäß der Bevölkerungsprognose (Basis-Szenario der Bevölkerungsprognose des ÖROK bis 2021, Quelle: Statistik Österreich, ISIS-Datenbank) linear erhöht. Dies führt zu einer Erhöhung der aggregierten Nachfrage um 3,5% gegenüber 1995. Die Deckung dieser Nachfrage aus verschiedenen Sektoren (besonders direkte Verwendung, Verarbeitung) kann hingegen in den verschiedenen Szenarien auf Grund der Modellrechnungen (durch die konsistente Abbildung z.B. der Ölverwendung für die menschliche Ernährung aus der inländischen Verarbeitung bzw. direkte Verwendung aus Importen) geringfügig variieren.

4.2.8 Nachfragemodul „stofflich genutzte nachwachsende Rohstoffe“

In diesem Nachfragemodul wurde – in Abstimmung mit den Experten des Industriewissenschaftlichen Instituts (IWI) – davon ausgegangen, dass sich die Nachfrage entsprechend des Wachstums der Nettoproduktionswerte des Sektors Chemieproduktion laut WIFO (Kratena und Schleicher 2001) um 8% erhöht. Dies führt zu der in Tabelle 5 dargestellten Ausweitung der Nachfrage nach nachwachsenden Rohstoffen vom Ackerland.

Tabelle 5. Zunahme der Nachfrage nach nachwachsenden Rohstoffen vom Ackerland

	Inlandsverwendung gesamt			NON-FOOD Verwendung		
	1995	2020	Zunahme	1995	2020	Zunahme
	[1000tFG]		[%]	[1000tFG]		[%]
Zucker	331,00	342,80	3,6%	7,00	7,56	8,0%
Stärke insgesamt	258,52	278,03	7,5%	232,67	251,28	8,0%
* Weizenstärke	6,71	7,21	7,5%	6,04	6,52	8,0%
* Maistärke	217,09	233,47	7,5%	195,38	211,01	8,0%
* Kartoffelstärke	33,81	36,36	7,5%	30,43	32,86	8,0%
* Reisstärke	0,88	0,95	7,5%	0,79	0,86	8,0%
* andere Stärke	0,04	0,04	7,5%	0,03	0,04	8,0%
Ethanol	1,13	1,14	0,6%	0,56	0,61	8,0%
* aus Weizen	0,02	0,02	0,6%	0,01	0,01	8,0%
* aus Mais	0,96	0,97	0,6%	0,48	0,52	8,0%
* aus Kartoffel	0,14	0,15	0,6%	0,07	0,08	8,0%
Öle (ohne RME)	173,84	175,85	1,2%	15,27	16,49	8,0%
Fasern etc.	199,00	206,63	3,8%	15,92	17,19	8,0%

Quellen: Eigene Berechnung auf Basis der Statistischen Jahrbücher des ÖSTAT (z.B. ÖSTAT 1996).

Die stoffliche Nutzung von Holz wurden über Wachstumsprognosen von Säge- und Papierindustrie berücksichtigt und in allen Szenarien gleich gehalten (siehe unten).

4.2.9 Nachfragemodul „energetische Nutzung von Biomasse“

In diesem Bereich wurde für das TREND-Szenario weitgehend die Energieprognose des Österreichischen Instituts für Wirtschaftsforschung (WIFO) herangezogen (Kratena und Schleicher 2001). Diese liefert eine Abschätzung der Nachfrage nach Energie aus Biomasse im Jahr 2020, die deutlich über dem Wert des Jahres 2000 liegt. Abweichungen zur WIFO-Prognose weist unser Szenario nur in zwei Bereichen auf: Wir haben unterstellt, dass aus Entsorgungsgründen langfristig jährlich 95.000 t Tiermehl in den EVU-Kraftwerken verbrannt werden, wodurch zusätzliche Mengen an Strom aus Biomasse gewonnen werden können (kein „Ökostrom“ laut EIWOG). Weiters haben wir auf Grund der großen politischen Anstrengungen im Bereich der biogenen Treibstoffe eine Erhöhung des Einsatzes von biogenen Kraftstoffen auf Basis Altöl-Methylester (AME) und Raps-Methylester (RME) auf 2 PJ/a²³ im Jahr 2020 unterstellt. Die erste dieser beiden Annahmen (Tiermehlverbrennung) bleibt in allen Szenarien gleich und hat daher keine Auswirkungen auf eine vergleichende Bewertung der Szenarien.

²³ Das WIFO macht hierzu keine Annahmen; unsere Annahme beruht vor allem auf der Studie der TU-Wien (Haas et al. 2001).

Tabelle 6. Annahmen über die Nachfrage nach biogenen Energieträgern im Jahr 2000 und im Jahr 2020 in PJ (Heizwert H_u)

Nachfrage nach biogenen Energieträgern	2000	2020
Endnachfrage	105,6	120,5
Haushalte	72,9	61,4
Kleinverbraucher ohne Haushalte	7,9	10,9
Industrie	24,3	46,2
Verkehr funktionell (Treibstoffe)	0,6	2,0
Umwandlungseinsatz	21,0	48,7
Kraftwerke EVU	0,2	4,0
Fernwärme-Versorgungsunternehmen	5,8	15,9
Kraft-Wärme-Kopplung Industrie	14,9	28,8
Summe	126,6	169,2

Quelle: Bis auf den Verkehrssektor 2020 die WIFO-Prognose (Kratena und Schleicher 2001). Im Verkehrssektor wurde ein plausibler Wert an Hand einer Studie der TU-Wien (Haas et al. 2001) ermittelt. Im Bereich EVU-Kraftwerke wurde zudem zusätzlich zum Wert der WIFO-Prognose die Verbrennung von 95.000 t Tiermehl unterstellt (kein „Ökostrom“ laut EIWOG).

Da wir im Weiteren die Frage klären sollen, wie sich die Veränderungen in der Biomasse-Nachfrage auf die Landschaft (d.h. insbesondere auf die Verteilung Ackerland / Grünland / Wald) auswirken, sowie die Szenarien mit Hilfe von Indikatoren wie HANPP²⁴ bewerten sollen, ist es für uns wesentlich, zu unterscheiden, ob die nachgefragte Biomasse vom Ackerland oder aus dem Wald kommt (energetische Nutzung von Grünland haben wir nicht unterstellt). Die WIFO-Prognose enthält keine Angaben darüber, aus welchen Quellen die in Tabelle 6 gezeigte Energie aufgebracht werden soll. Außerdem baut die WIFO-Prognose im Bereich Biomasse auf Daten einer Studie der TU-Wien auf (Haas et al. 2001), die nur bis zum Jahr 2010 (Zielzeitraum Kyoto) reicht. In dieser Studie, die vom WIFO in seiner Prognose fortgeschrieben wurde, werden zwar Angaben über die Aufteilung der Biomasse-Aufbringung gemacht; weil diese Studie aber nur bis zum Jahr 2010 reicht, sind diese Daten für das Jahr 2020 nicht unmittelbar übertragbar.

Da wir hier einen doppelt so langen Zeitraum untersuchen wie die TU-Studie, waren wir gezwungen, eigene Abschätzungen über die Herkunft dieser Biomasse mengen zu machen. Zu diesem Zweck gingen wir von ÖSTAT-Daten (Bittermann 1999, Bittermann 2000; Sonderauswertung des ÖSTAT im Auftrag von IFF-Soziale Ökologie, 2000) für die Jahre 1989-1998 sowie eigenen Recherchen und Abschätzungen auf Basis der Literatur (Österreichischer Biomasse-Verband 2000a; Schmidt et al. 1994; Stockinger und Obernberger 1998) sowie der ÖSTAT-Holzbilanzen (Bittermann und Gerhold 1995, Gerhold 1992) aus. Diese Analyse ist vor allem auch deshalb schwierig, weil die verschiedenen statistischen Quellen (Energiebilanz, Holzbilanz) und Grundlagenarbeiten (z.B. das Branchenkonzept Holz [Schmidt et al. 1994] sowie die zitierten Arbeiten) beträchtliche Abweichungen für die Werte Mitte der 1990er Jahre aufweisen, die im Rahmen der verfügbaren Projektressourcen trotz erheblicher Anstrengungen nicht bereinigt werden konnten.

Weiters ist es wesentlich zu unterscheiden, ob die Biomasse aus kaskadischer Nutzung kommt, d.h. ein Biomasse-Abfallstrom genutzt wird (in diesem Fall ist keine direkte Landschaftswirksamkeit gegeben), oder ob sie eine Primärentnahme darstellt, d.h. zu entsprechenden Flächen-Inanspruchnahmen (bzw. Erhöhung des Holzeinschlages im Wald oder Erhöhung von Importen) führt. Die Datenbasis hierfür ist leider schon bereits für die Jahre 1995 bzw. 2000 sehr schlecht; umso schwieriger ist die Entwicklung einer robusten Prognose. Die größten Unsicherheiten und Inkonsistenzen bestehen dabei im Bereich Holz bzw. Forstbiomasse.

Wir haben zu diesem Zweck die Methode gewählt, die Primärentnahme aus dem Wald (Brennholz, "sonstiges Brennholz" laut Holzbilanz und Waldhackgut) als Restgröße anzunehmen und die anderen Biomassefraktionen explizit zu schätzen. Zu den hierfür verwendeten Annahmen siehe die Anmerkungen zu Tabelle 7.

²⁴ Human Appropriation of Net Primary Production = Gesellschaftliche Aneignung von Nettoprimärproduktion. HANPP führt dazu, dass weniger Energie in Ökosystemen verfügbar ist, weil diese – in Form von Biomasseentzug oder in Form einer Veränderung der Produktivität von Ökosystemen – gesellschaftlich angeeignet wird. HANPP ist hoch korreliert mit einer Verminderung der Biodiversität (Ergebnisse eines laufenden KLF-Projekts) sowie mit einer Verminderung des Kohlenstoffvorrats der Vegetation.

Tabelle 7. Abschätzung der Deckung der energetischen Nachfrage nach Biomasse 2000 und 2020, Heizwert (H_u)

	2000	TREND 2020
1. Biomasse kaskadisch		
1.1 Forst-Biomasse	54,6	73,8
Sägenebenprodukte und wiederverwertetes Holz ¹	22,9	24,5
Rinde ¹	9,3	14,1
Ablauge Papierindustrie ²	22,4	35,2
1.2 Sonstige Biomasse	4,1	14,2
Rückstände Ackerland inkl. Stroh ³	0,2	0,5
Biogener Anteil MVA ⁴	2,0	4,1
AME ⁵	0,0	0,8
Biogas, Klärgas, Deponiegas ⁶	1,9	6,2
Tiermehlverbrennung ⁷	0,0	2,7
Summe kaskadisch	58,8	88,0
2. Biomasse primär		
2.1 Forst-Biomasse primär⁸	67,2	80,0
2.2 Acker-Biomasse primär	0,6	1,2
RME ⁹	0,6	1,2
Sonstige Energieplantagen am Acker	0,0	0,0
Summe primär	67,8	81,2
Gesamtsumme	126,6	169,2

¹ Wert für 2000 abgeschätzt auf Basis der Holzbilanzen sowie von Stockinger und Oberberger 1998; Wert für 2020: Eigene Hochrechnungen (s.u.). Wert für das wiederverwertete Holz aus Holzbilanzen.

² Wert für 2000: aus ÖSTAT-Sonderauswertung fortgeschrieben. Wert für 2020: Hochgerechnet auf Basis des fortgeschriebenen Wachstums der Papierindustrie (s.u.).

³ Wert für 2000: Fortschreibung ÖSTAT-Sonderauswertung; Wert für 2020: Verdopplung (Annahme).

⁴ Wert für 2000: Annahme, dass 40% des Energiebilanz-Wertes für "Brennbare Abfälle / Haushaltsabfälle" laut ÖSTAT-Sonderauswertung biogen ist. Wert für 2020: Verdopplung der Müllverbrennung auf Grund der Deponieverordnung (Quellen: H. Gupfinger, Ökologie-Institut, pers. Auskunft, 2001; Presseaussendung von M. Kriegner, Vereinigung der Österr. Zementindustrie und A. Wischinka, ARGE Thermik, 27.2.2001).

⁵ Laut TU-Studie (Haas et al. 2001) besteht in diesem Bereich ein wirtschaftliches Potenzial von rund 1,4 PJ/a. Wir nehmen an, dass dieses bis 2020 teilweise ausgeschöpft wird.

⁶ Extrapolation der Trends laut TU-Studie (Haas et al. 2001) und WIFO-Prognose (Kratena und Schleicher 2001).

⁷ Annahme: 95.000 t/a Tiermehl werden auf Grund eines langfristigen Fütterungsverbotes verbrannt.

⁸ Dieser Posten wird als Restposten behandelt, d.h. er gleicht den Fehlbestand zur Summe der Nachfrage aus. Er beinhaltet die gesamte HANPP-wirksame Primärenthnahme von Biomasse aus Forst-Ökosystemen, d.h. Brennholz-Primärenthnahme, Waldhackgut und "sonstiges Brennholz" laut Holzbilanz.

⁹ Für 2000: Wert der ÖSTAT-Sonderauswertung für 1998. Für 2020: Annahme: Verdopplung.

Tabelle 7 zeigt, dass eine Deckung der vom WIFO prognostizierten Biomassenachfrage (Steigerung 2020 um rund 33 % im Vergleich zu 2000) mit dem von uns unterstellten Mix an biogenen Energieträgern die folgenden Effekte hätte: Die kaskadische Nutzung von Biomasse würde um 29,5 PJ oder knapp 50 % steigen. Einen Beitrag dazu leistet die Erhöhung des Aufkommens an Rinde und Sägenebenprodukten, die sich aus dem Wachstum der Sägeindustrie, der sonstigen Holzverarbeitenden Industrie sowie sonstigen Sektoren, die Sägenebenprodukte liefern, erklärt (Details dazu siehe unten). Mengenmäßig bedeutend ist die Steigerung der Ablaugeverbrennung in der Papierindustrie, die auf Basis des prognostizierten Wachstums der Papierindustrie angenommen wurde. Die Datengrundlagen für die Abschätzung des Basiswerts der Ablaugeverbrennung im Jahr 2000 zeigt Abbildung 7; die gleichzeitig auch einen Eindruck über die Größe der Unsicherheiten in diesem Bereich vermittelt. Im Bereich der "sonstigen Biomasse" liefert vor allem der Ausbau der Biogas- und Deponiegasnutzung erhebliche Beiträge. Die in diesem Bereich getroffenen Annahmen der TU-Studie, die wir hier fortgeschrieben haben, beruhen vor allem auch darauf, dass von den im EIWOG festgesetzten Quoten für Energie aus erneuerbaren Quellen beträchtliche Impulse ausgehen werden. Die Werte für die Entwicklung im Bereich Biogas erscheinen dennoch als recht optimistisch.

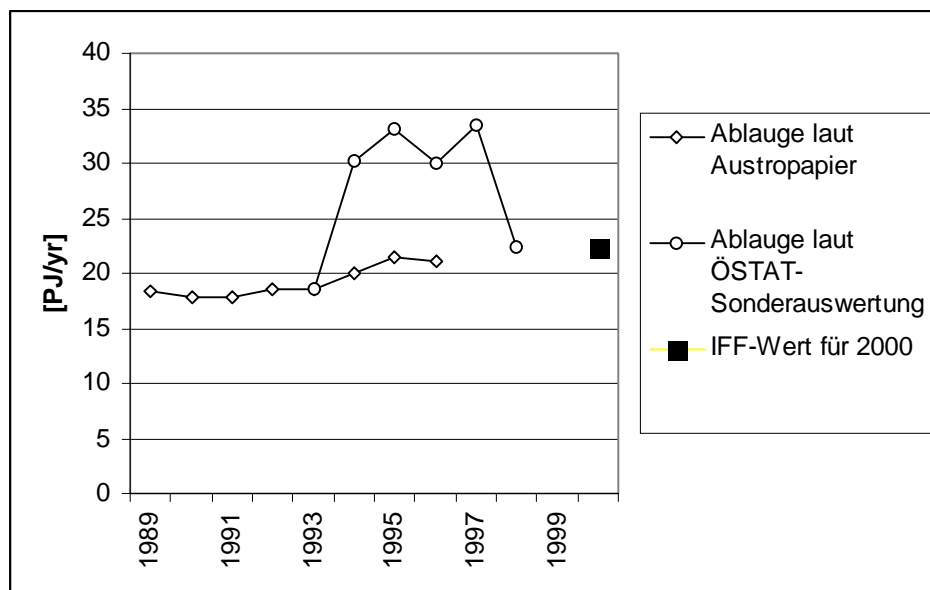


Abbildung 7: Datengrundlagen zur Abschätzung der Ablaugeverbrennung in der Papierindustrie im Basisjahr 2000.

Quellen: ÖSTAT-Sonderauswertung, Datenblatt der Austropapier.

Hinsichtlich RME/AME haben wir angenommen, dass bereits im TREND-Szenario das laut TU-Studie wirtschaftlich nutzbare Potenzial für AME zu ca. 60% ausgeschöpft wird und die RME-Produktion sich lediglich verdoppelt. Für diesen Bereich haben wir im Biomasse-Maximierungsszenario wesentlich höhere Werte angesetzt (s.u.).

Tabelle 8 zeigt, dass Biomasse im Jahr 2020 im TREND-Szenario rund 11% des Endenergieeinsatzes und rund 17% des Umwandlungseinsatzes decken würde. Der Anteil der Biomasse am Gesamtenergieeinsatz im Jahr 2020 würde demnach 12% betragen.

Tabelle 8. Biogener Anteil im Endenergieeinsatz und Umwandlungseinsatz gemäß modifiziertem WIFO-Baselineszenario im TREND-Szenario 2020, Heizwerte [H_u]

	Energieeinsatz [PJ]	Biogener Anteil [%]
Endenergieeinsatz		
Haushalte	238,6	26%
Sonstige Kleinverbraucher / Dienstleistungen	214,1	5%
Industrie	318,7	15%
Verkehr	349,3	0,6%
Summe	1120,6	11%
Umwandlungseinsatz		
Brennstoffe Stromerzeugung EVU	169,3	2%
Brennstoffe Fernwärme-Unternehmen (KWK)	46,6	34%
Brennstoffe Industrielle KWK	79,2	36%
Summe	295,2	17%
Gesamtenergieeinsatz laut WIFO-Prognose	1443,3	12%

Quelle: WIFO-Baselineszenario, modifiziert um eigene Annahmen zu Tiermehl und RME (s.o.)

Tabelle 9 zeigt die Gewinnung von Strom und Wärme aus Biomasse im TREND-Szenario. Hier ist zu beachten, dass wir nur bei den EVU-Kraftwerken nicht von einem Einsatz der Biomasse in Kraft-Wärme-Kopplungen ausgehen. Im Bereich Biogas ist allerdings eine Nutzung der Abwärme in vielen Fällen auf Grund des dezentralen Anfalls nicht oder nur eingeschränkt möglich, dies wurde bei der Annahme der Effizienz berücksichtigt. Zu beachten ist, dass nicht der gesamte „biogene“ Strom auch unter die Definition „Ökostrom“ nach EIWOG fällt und daher auch nicht auf allfällige Ökostrom-Ziele angerechnet werden sollte. Aus den hier genannten Zahlen sind daher nicht unmittelbar Aussagen zur Frage der Zielerreichung bezüglich Ökostrom laut EIWOG abzuleiten.

Der Output von etwa 3.200 GWh Elektrizität entspricht gut 4% der Stromerzeugung in Österreich im Jahr 2020 laut WIFO-Baseline-Szenario (Kratena und Schleicher 2001). Der Output von 24,5 PJ Wärme entspricht gut einem Drittel des Endenergieeinsatzes an Fernwärme im Jahr 2020 laut WIFO-Baseline-Szenario.

Tabelle 9. Erzeugung von Strom und Wärme aus Biomasse im TREND-Szenario 2020, Heizwert (H_u)

	Input [PJ/a]	Output Strom [GWh/a]	Output Wärme [PJ/a]
Tiermehlverbrennung	2,7	309,2	0
Biogas Landwirtschaft ¹	2,4	157,2	0,2
Deponie- und Klärgas ²	3,8	182,8	0,6
Biogener Anteil MVA	4,1	90,1	2,8
Biomasse in Kond.Kraftwerken	1,4	159,5	0
Biomasse in industrieller KWK	22,5	1519,7	13,7
Biomasse in FWVU-KWK	11,9	802,0	7,2
Summe	48,7	3220,4	24,5

¹ Annahme: Nur ein Viertel der Wärme kann genutzt werden, daher der niedrige thermische Wirkungsgrad.

² Annahme: Nur die Hälfte der Wärme kann genutzt werden, daher der niedrige thermische Wirkungsgrad.

4.2.10 Anfall von Rinde und Sägenebenprodukten im TREND-Szenario

Wie bereits erwähnt, spielen die Annahmen darüber, welche Mengen an kaskadischer Biomasse – besonders aus dem Bereich der Holzverarbeitung – im Jahr 2020 zur Verfügung stehen werden, eine große Rolle für die Abschätzung der verfügbaren Potenziale an Biomasse sowie die ökologische Bewertung ihrer Nutzung. Eine besonders wichtige Rolle spielen in diesem Bereich die Sägenebenprodukte und sonstigen Nebenprodukte der Holznutzung. In diesem Bereich bestehen leider beträchtliche Inkonsistenzen zwischen den verfügbaren Datenquellen Holzbilanz (Bittermann und Gerhold 1995), dem BMUJF-Branchenkonzept (Schmidt et al. 1994), der Energiestatistik und der Literatur (v.a. Stockinger und Obernberger 1998). Wir haben versucht, diese Quellen zusammenzuführen, wobei allerdings bestenfalls Ergebnisse in Grobanalysenschärfe gewonnen werden konnten.

Bei einer Analyse der Holzflüsse und der Flüsse sonstiger forstlicher Biomasse in Österreich sowie der Importe und Exporte (Tabelle 10) im Zeitverlauf fällt auf, dass Österreich zunehmend mehr Rohholz importiert und dafür mehr Schnittholz und sonstige Holzprodukte (v.a. Papier, Zellstoff und dergl.) exportiert. Das heißt, die Sägeindustrie, holzverarbeitende Industrie und Zellstoff- und Papierindustrie arbeiten primär exportorientiert und in einem immer größeren Ausmaß auf Basis von importierten Rohmaterialien. Bei der Verarbeitung von Rohholz, und daher auch bei der Verarbeitung des importierten Rohholzes fallen entsprechende Mengen an Sägenebenprodukten (SNP) an, die zum Teil in der Papier- und der Plattenindustrie stofflich verwertet werden, zum Teil für die energetische Nutzung zur Verfügung stehen.

ROLAND
Themenheft "Biomasseeinsatz und Landnutzung"

Tabelle 10. Importe und Exporte von Holz und ausgewählten Holzprodukten laut Außenhandelsstatistik in 1000 t TM.

	1950	1960	1970	1980	1986	1990	1995
Importe							
Holz, roh	33	144	687	1.470	1.652	1.808	2.420
Holz, einfach bearbeitet	0	12	46	281	338	369	533
Brennholz	0	15	79	32	113	122	92
Holzwaren (Furniere, Möbel ...)	1	4	45	172	254	381	592
Papierzeug	6	53	165	457	766	906	1.039
Pappe, Papier, Papierwaren	5	17	115	248	410	622	853
Druckereierzeugnisse	1	12	37	63	82	101	97
Summe Importe	47	258	1.175	2.723	3.616	4.310	5.626
Exporte							
Holz, roh	386	135	151	456	332	605	544
Holz, einfach bearbeitet	295	1.409	1.397	1.776	1.461	1.899	2.030
Brennholz	97	64	57	34	5	2	11
Holzwaren (Furniere, Möbel....)	29	25	104	484	556	811	1.003
Papierzeug	108	189	133	264	350	295	304
Pappe, Papier, Papierwaren	130	297	612	1.041	1.614	2.215	2.852
Druckereierzeugnisse	2	4	11	28	40	61	86
Summe Exporte	1.048	2.125	2.466	4.084	4.358	5.888	6.830
Nettoexport	1.001	1.867	1.291	1.360	742	1.577	1.205

Quellen: Eigene Berechnung auf Basis der Statistischen Jahrbücher des ÖSTAT (z.B. ÖSTAT 1996).

Wir nahmen in allen unseren Szenariorechnungen das Wachstum des Holzverbrauches von Sägeindustrie, sonstiger holzverarbeitender Industrie (HVI), Plattenindustrie und Papierindustrie als gegeben an (siehe Abbildung 8). Das Wachstum der Sägeindustrie und der sonstigen HVI (zusammen mit einigen kleineren SNP-liefernden Sektoren) bestimmt dabei im Wesentlichen den Anfall an Sägenebenprodukten. Das Wachstum von Papier- und Plattenindustrie sowie das Verhältnis SNP / Primärholzeinsatz bestimmt die stoffliche Verwertung von SNP. Der Anfall an Rinde wird über den inländischen Einschlag an Holz bestimmt. Da das Verhältnis an Primärholzeinsatz und SNP-Input der Sektoren Papierindustrie und Plattenindustrie im Zeitverlauf hoch variabel ist (Bittermann und Gerhold 1995), ist eine Prognose dieses Verhältnisses – das von entscheidender Bedeutung für die Verfügbarkeit von SNP für die energetische Nutzung ist – von großer Bedeutung.

Wir gingen für die Prognose des Verhältnisses von SNP/Primärholz im Wesentlichen davon aus, dass sich die Verhältnisse in der Mitte der 1990er Jahre weitgehend fortsetzen werden, d.h. wir haben die Mittelwerte für Mitte der 1990er Jahre fortgeschrieben. Datenquelle hierfür war eine Verschneidung von ÖSTAT-Holzbilanz und Literaturdaten, vor allem Stockinger und Obernberger (1998) . Der Anfall an SNP und Rinde, den wir in Tabelle 11 angeben, ist unter dieser Voraussetzung errechnet. Da der Bedarf an Primärholz für energetische Nutzung als Restgröße ermittelt wird, ist er – neben den anderen, bereits oben diskutierten Annahmen – in einem erheblichen Ausmaß von dieser Annahme abhängig. Würde die Papier- und Plattenindustrie weniger SNP einsetzen, so wären für die energetische Nutzung mehr SNP übrig und müsste weniger Primärholz für energetische Zwecke eingesetzt werden. Würde umgekehrt die Papier- und Plattenindustrie mehr SNP einsetzen, so müsste zur Deckung des prognostizierten Biomasse-Energieeinsatzes mehr Primärholz aus dem Wald entnommen werden, dafür wäre der Primärholz-Einsatz der Papier- und Plattenindustrie geringer. Die Abschätzung der Verfügbarkeit an SNP ist daher von erheblicher Bedeutung dafür, wie viel Primärholz eingeschlagen werden muss, um eine bestimmte Menge an Biomasse-Energienachfrage zu decken.

Tabelle 11. Aufkommen und stoffliche Verwendung von SNP im Jahr 2020 auf Grund unserer Annahmen, 1000 Festmeter (fm)

	Aufkommen 2020 [1000 fm]
Aufkommen von SNP	
Forstwirtschaft und Landwirtschaft	317
Sägen	5662
Sonst HVI	1800
SNP-Aufkommen insgesamt	7779
Stoffliche Verwendung SNP	
Papierindustrie	3269
Plattenindustrie	2735
Summe stoffliche Verwendung SNP	6005
Verfügbarkeit von SNP für energetische Nutzung	1774

Quellen: Eigene Abschätzungen und Fortschreibungen auf Basis der Holzbilanzen sowie von Stockinger und Oberberger (1998).

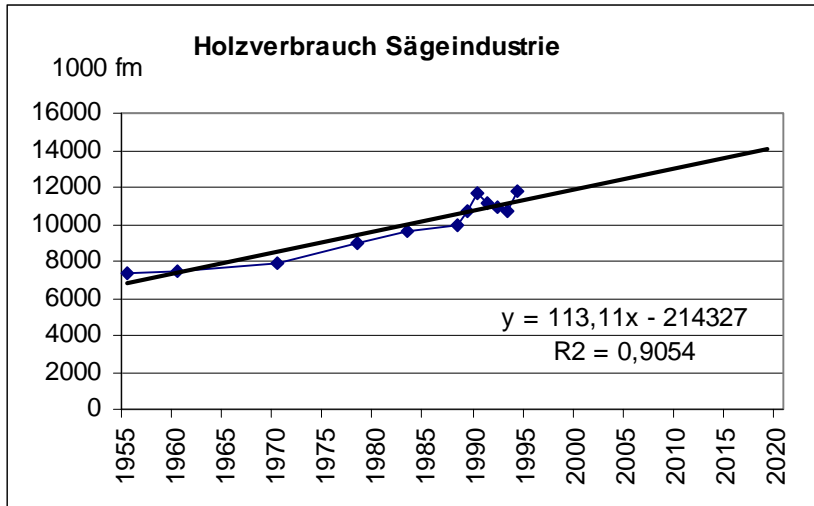
Das Element an Unsicherheit, das durch die – kaum prognostizierbare – Relation zwischen SNP- und Primärholzeinsatz in der Papier- und Plattenindustrie hervorgerufen wird, wird allerdings dadurch gemildert, dass der Primärholzeinsatz der Papier- und Plattenindustrie und die Verfügbarkeit von SNP für energetische Zwecke ebenfalls kommunizierende Gefäße sind: Bis zu dem Punkt, an dem von der Papier- und Plattenindustrie der technisch höchstmögliche Anteil an SNP stofflich verwertet werden, gilt: Je mehr SNP energetisch genutzt werden, desto höher der Primärholzeinsatz der Papier- und Plattenindustrie und umgekehrt.²⁵ Würde man daher annehmen, dass mehr SNP für die energetische Nutzung zur Verfügung stehen sollen, so müsste die Papier- und Plattenindustrie mehr Primärholz einsetzen; würde man umgekehrt annehmen, dass die Papier- und Plattenindustrie mehr SNP einsetzt, dann würde sie weniger Primärholz verbrauchen, das dann – beim je Szenario unterstellten Einsatz von Holz für Energiegewinnung – wieder für energetische Nutzung eingesetzt werden müsste. Das bedeutet: Der Primärholzbedarf je Szenario (in Abhängigkeit von der energetischen Nutzung von forstlicher Biomasse insgesamt bei dem von uns als fix angenommenen Wachstum von Säge-, Papier- und sonstiger Holzverarbeitender Industrie) kann relativ gut angegeben werden. Was wir nicht wissen, ist die Verteilung des Primärholzeinsatzes auf Energiegewinnung und stoffliche Nutzung.

Aus diesem Grund haben wir darauf verzichtet, unsere Prognosen über die Verfügbarkeit von SNP für energetische Nutzung nach Szenarien zu differenzieren. Verschiebungen zwischen stofflichem und energetischem Einsatz von SNP ändern auf Grund dieser Zusammenhänge nicht die Menge an Primärholz, die nötig ist, sondern nur ihre Zurechnung zur stofflichen oder energetischen Nutzung.

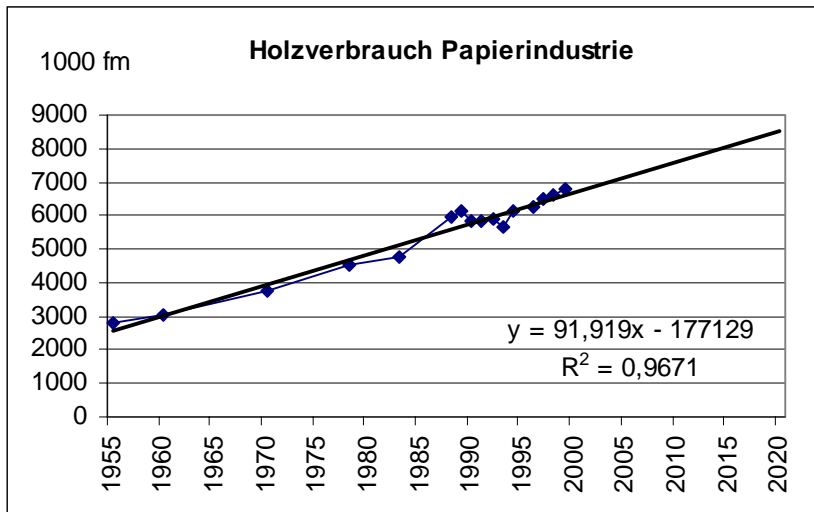
Im einzelnen sind wir folgendermaßen vorgegangen: Der Holzverbrauch von Sägeindustrie, Plattenindustrie, Papierindustrie, sonstiger HVI usw. wurde linear fortgeschrieben (vgl. Abbildung 8). In der Sägeindustrie wurde angenommen, dass 40% des Holzinputs als SNP anfällt, was etwa den Werten aus der Holzbilanz und von Stockinger und Oberberger (1998) entspricht. Der Anfall und Verbrauch an SNP in der Forstwirtschaft selbst wurde vor allem aufgrund der SNP-Bilanz und von Stockinger und Oberberger (1998) fortgeschrieben. Zur Abschätzung des stofflichen SNP-Einsatzes der Papierindustrie wurden angenommen, dass 45% ihres Inputs aus SNP kommen. Zur Abschätzung des stofflichen SNP-Einsatzes der Plattenindustrie wurde unterstellt, dass 75% ihres Inputs aus SNP kommen. Beide Werte sind Fortschreibungen von Mittelwerten der 1990er Jahre.

²⁵ Es sei denn, dies würde die Plattenindustrie auf Grund zu hoher Rohstoffpreise zur Abwanderung in andere Länder veranlassen. Dies haben wir allerdings nicht berücksichtigt. Aus ökologischer Sicht würde es – bei gleichbleibendem Konsumverhalten – bedeuten, dass Österreich dann mehr Platten aus dem Ausland importieren würde.

a) Sägeindustrie



b) Papierindustrie



c) Plattenindustrie

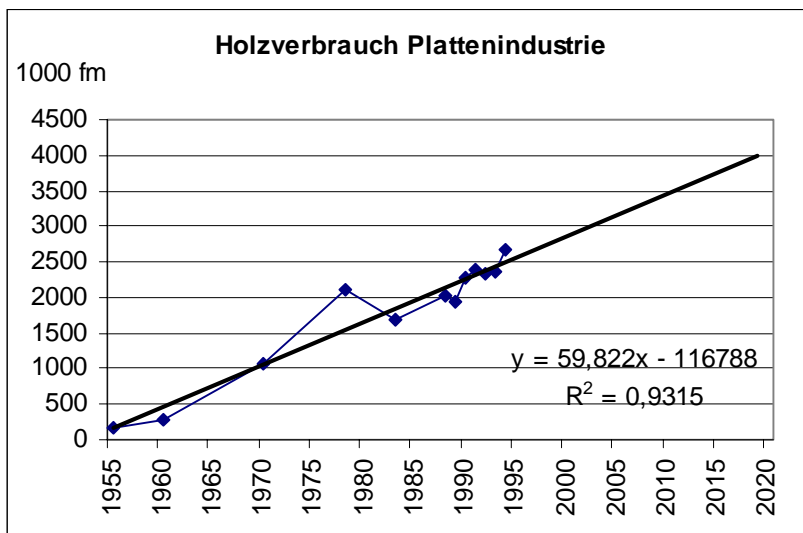


Abbildung 8. Prognose des Wachstums des Holzverbrauches in verschiedenen Industriebereichen.

Datenquelle: Holzbilanzen des ÖSTAT (Bittermann und Gerhold 1995; Gerhold 1992) sowie die Homepage von Austropapier: (<http://www.austropapier.at>).

4.2.11 Biomassefluss und Landnutzung für 1995/2020 im TREND-Szenario

Ausgehend von den genannten Annahmen und Fortschreibungen ergeben sich die in den Abbildungen A7, A8 und A9 im Anhang dargestellten Modellergebnisse in 1000 t TM.

Abbildung A7 stellt die landwirtschaftlichen Biomasseflüsse dar. Die heimische Produktion an landwirtschaftlicher Biomasse steigt von 17,52 Mt TM im Jahr 1995 auf 17,97 Mt TM (+2,6%), wovon allerdings deutlich mehr (+300.000 t TM) am Acker verbleibt. Das Importsaldo steigt unter anderem wegen des angenommenen Fütterungsverbot für Tiermehl von 486.000 t TM auf 621.000 t TM, wobei beide Werte im Verhältnis zur gesamten Inlandsverwendung gering sind (3% bzw. 4%). Hierzu ist allerdings anzumerken, dass dies nur der Außenhandelsaldo ist; da Biomasse sowohl importiert als auch exportiert wird, sind die Import/Exportflüsse selbst wesentlich größer. Die Steigerung der RME-Produktion führt zu einer gewissen Steigerung der Flüsse aus der Verarbeitung in den Viehsektor. Deutlich erkennbar ist, dass die angenommene Ausweitung der energetischen Nutzung von Acker-Biomasse eine deutliche Erhöhung der entsprechenden Ströme bewirkt. Die materielle Nutzung von Acker-Biomasse nimmt hingegen annahmegemäß nur in einem bescheidenem Ausmaß zu (vgl. Anhang, Abb. A4 und Abb. A7).

4.2.12 Veränderungen der Landnutzung 1995/2020 im TREND-Szenario

Die auf Österreichebene aggregierte Flächenprognose des TREND-Szenarios wurde bereits in Tabelle 3 dargestellt. Die folgende Tabelle 12 stellt die Entwicklungen in den 8 HPGs dar.

Tabelle 12. Flächennutzungskategorien in den Hauptproduktionsgebieten im TREND-Szenario im Jahr 2020

	Siedlungs- und Verkehrs- flächen	Acker- und Gartenland	Grünland und Almen	Wald	Sonstige Flächen	Gesamt
	[km ²]	[km ²]	[km ²]	[km ²]	[km ²]	[km ²]
Hochalpen	793	21	10.191	12.825	5.963	29.793
Voralpen	396	169	1.896	6.466	314	9.242
Alpenostrand	551	508	2.178	7.504	193	10.934
Wald- und Mühlviertel	418	2.017	1.457	3.585	79	7.557
Kärntner Becken	221	439	413	1.354	67	2.493
Alpenvorland	993	3.241	1.788	2.416	171	8.609
Südöstliches Flach- und Hügelland	515	1.699	403	2.363	42	5.022
Nordöstliches Flach- und Hügelland	1.304	5.521	188	2.861	334	10.208
Österreich	5.191	13.614	18.514	39.375	7.164	83.859

Quelle: Eigene Berechnungen

Zu beachten ist, dass ein beträchtlicher Teil der Ackerfläche im Jahr 2020 (ca 8% der Ackerfläche, das ist etwa gleich viel wie im Jahr 2000) als (geförderte) Brachfläche vorliegt. Tabelle 13 zeigt die Anteile der Feldfruchtaggregate sowie der Brachfläche am österreichischen Ackerland im Jahr 2020 nach unseren Modellrechnungen.

Tabelle 13. Anteil der 12 Feldfruchtaggregate am österreichischen Ackerland im Jahr 1995 und 2020 im TREND-Szenario

	Ackerfläche 1995 [km ²]	Ackerfläche TREND 2020 [km ²]	Anteil TREND 2020 [%]
Brotgetreide	3.283	3.058	24%
Futtergetreide	2.977	2.506	19%
Körnermais	1.701	1.644	13%
Silomais	902	870	7%
Körnerfrüchte	406	613	5%
Kartoffel	268	264	2%
Zuckerrübe	511	430	3%
Raps	871	666	5%
Sonnenblume	281	300	2%
Klee, Egarten	1.124	857	7%
Ackerbrache	1.216	1.043	8%
sonstige Feldfrüchte	295	602	5%
Summe	13.387	12.853	100%

Quelle: Eigene Berechnungen

Die bescheidene Produktion von 1,2 PJ RME (ca. 0,4% des prognostizierten Treibstoffeinsatzes in Österreich im Jahr 2020) belegt eine Fläche von 290 km² (von insgesamt 666 km² Rapsanbaufläche), was bereits 2,3% der österreichischen Ackerfläche im Jahr 2020 entspricht.

4.3. Das MAX-Szenario

Die „Philosophie“ hinter diesem Szenario besteht vor allem darin, durch Schaffung neuer Märkte (Energie, nachwachsende Rohstoffe) für landwirtschaftliche Produkte die Ackerfläche auszuweiten und die energetische Nutzung von Holz zu maximieren. Zugrundeliegend Motive sind hier unter anderem der Klimaschutz und die Substituierung importierter Fossilenergieträger. Ein solches Szenario würde deutliche Veränderungen der Rahmenbedingungen unterstellen, etwa wesentlich höhere Ölpreise als heute oder eine massive Subventionierung der Biomassenutzung. Die Förderung von Brachflächen würden in diesem Szenario durch Förderung des Anbaus von Energierohstoffen abgelöst. Ziel in diesem Szenario ist die Ermittlung des Potenzials an Biomasse für energetische und materielle Nutzung durch: eine Maximierung der Anbaufläche, eine weitgehende Ausschöpfung des Ertragspotenzials im Wald und eine im Vergleich zum TREND-Szenario verstärkte „kaskadische“ Biomassenutzung.

4.3.1 Abschätzung der 2020 maximal verfügbaren Ackerfläche

Die maximal ackerbaulich nutzbare Fläche (Ack_{max}) im Jahr 2020 wurde auf Ebene der HPGs folgendermaßen ermittelt: Die Brutto- Ack_{max} jedes HPG ergibt sich als Summe der in jedem KPG des HPG im Zeitraum 1979 bis 1995 beobachteten maximalen Ackerfläche. Da jedoch angenommen werden muss, dass der Zuwachs der Siedlungsflächen in diesem Zeitraum auf Kosten von Ackerland, Wiesen und Weiden erfolgte, werden die durch Versiegelung dauerhaft verlorengegangenen Ackerflächen von der Brutto- Ack_{max} abgezogen, um die tatsächlich zur Verfügung stehende Ack_{max} jedes HPG zu ermitteln. Die im Jahr 2020 durch Siedlungs- und Verkehrsflächen verloren gegangenen Ackerflächen wurden aus der insgesamt durch Bau- und Verkehrsflächen je HPG verloren gegangenen Fläche gemäß dem Verhältnis von Ackerland zu Grünland je HPG ermittelt.

Diese Vorgangsweise führte zu dem in Tabelle 14 dargestellten Ergebnis.

Tabelle 14. Ackerfläche im TREND-Szenario versus Ack_{max} je HPG im Jahr 2020

	Ackerland 1995 [km ²]	TREND 2020 [km ²]	Ack _{max} 2020 [km ²]
Hochalpen	231	14	372
Voralpen	165	158	203
Alpenostrand	760	486	762
Wald- und Mühlviertel	2.083	2.011	2.128
Kärntner Becken	433	429	433
Alpenvorland	3.257	3.214	3.214
Südöstliches Flach- und Hügelland	1.552	1.576	1.598
Nordöstliches Flach- und Hügelland	5.355	4.966	4.966
Österreich	13.837	12.853	13.675

Quelle: Bodennutzungserhebung 1995, eigene Berechnungen

Insgesamt könnte die Ackerfläche im Jahr 2020 gegenüber dem TREND-Szenario um maximal 822 km² (6,4%) ausgeweitet werden; d.h. die Ackerfläche würde gegenüber 2000 sogar leicht sinken. Allerdings zeigt sich, dass in den bereits jetzt intensiv genutzten Ackerbaugebieten auf Grund der prognostizierten Ausweitung der Siedlungsflächen praktisch keine freien Flächen zur Ausweitung der Ackerfläche zur Verfügung stehen und in jedem Fall eine Abnahme der Ackerfläche gegenüber 1995 zu erwarten ist (wenn es nicht gelingt, den Zuwachs der Siedlungs- und Verkehrsflächen zu bremsen). Potenziale zur Ausweitung der Ackerfläche gibt es vor allem in jenen HPGs, in denen auf Grund der ungünstigeren Bedingungen derzeit nur mehr eine geringe ackerbauliche Nutzung stattfindet. Das bedeutet, dass die Ackerfläche bei dem unterstellten Wachstum der Siedlungsflächen selbst unter größten Anstrengungen nicht konstant gehalten werden könnte.

4.3.2 Annahmen zur stofflichen Nutzung von nachwachsenden Rohstoffe

In diesem Bereich beruht das MAX-Szenario auf einer Abschätzung der Experten des Industriewissenschaftlichen Instituts (IWI) über die Marktpotenziale von stofflich genutzten nachwachsenden Rohstoffen im Jahr 2020. Diese Abschätzung wird in Tabelle 15 dokumentiert. Das IWI geht in dieser Abschätzung davon aus, dass die Wachstumspfade für die einzelnen Produktgruppen deutlich unterschiedlich ist.

Tabelle 15. Nachfrage nach stofflich genutzten "Nachwachsenden Rohstoffen" vom Ackerland im MAX Szenario

	1995 [1000t Frischgewicht]	TREND	MAX	Zunahme zu TREND [%]
Stärke ¹	232,95	251,28	302,00	20%
Alkohole ¹	0,56	0,61	0,70	15%
Öle (ohne RME)	15,27	16,49	22,91	39%
Zucker	7,07	7,58	8,25	9%
Fasern etc. ²	16,25	17,19	26,00	51%

Quelle: IWI (MAX); eigene Berechnungen (TREND), Eigene Berechnungen auf Basis der ÖSTAT-Versorgungsbilanzen (Wildling 1997; Wildling 1998).

¹ Es wird angenommen, dass der zusätzliche Bedarf an Stärke bzw. Ethanol zum TREND-Szenario ausschließlich durch Kartoffeln gedeckt wird.

² Lein, Hanf, Färbepflanzen etc.

Bei der Stärke gehen die ExpertInnen des IWI auf Grund ihrer Recherchen davon aus, dass der steigende Papierverbrauch zu einem verstärkten Einsatz von Altpapier führen wird, wodurch es zu einer Zunahme des Einsatzes an Bindemitteln aus Stärke kommen dürfte. Zudem gewinnt der Einsatz von Stärke in der Fermentationsindustrie an Bedeutung. Keine Potenziale zur Steigerung des

Absatzes sieht das IWI hingegen im Bereich Kunststoffe und Verpackungen auf Stärkebasis. Basierend auf diesen Annahmen ging das IWI von einer Steigerung des Stärkeeinsatzes von 1% pro Jahr, ausgehend von 1995, aus. Im TREND-Szenario betrug die jährliche Steigerung nur 0,3%.

Alkohole finden vor allem in der chemischen Industrie Verwendung. In diesem Bereich sehen die ExpertInnen des IWI gegenwärtig und zukünftig verstärkten F&E-Bedarf. Derzeit wird der Bedarf an Alkoholen vor allem über Importe gedeckt. Beim gegenwärtigen Forschungsstand nimmt das IWI eine maximale jährliche Steigerung von 0,9% an, deutlich unter dem prognostizierten Wirtschaftswachstum von 2%.

Pflanzliche Öle dienen bereits als Basis vieler Produkte (z.B. Naturlacke, Naturfarben, Schmiermittel, Motoröle, Druckfarben, Tenside und Naturkosmetik). Da in diesem Bereich die F&E weiter fortgeschritten ist, nimmt das IWI für diesen Bereich eine jährliche Steigerung von 1,6% an; niedriger als das Wirtschaftswachstum, aber doch deutlich höher als im TREND-Szenario.

Der Haupteinsatzbereich von Zucker im Non-Food-Bereich ist die Fermentation. Neue Einsatzbereiche konnten nicht identifiziert werden. Daher wird im MAX-Szenario lediglich eine doppelt so hohe Wachstumsrate angenommen als im TREND-Szenario (0,6% pro Jahr).

Fasern weisen zahlreiche expandierende zusätzliche Einsatzbereiche auf, z.B. Dämmstoffe und Autozulieferteile. Auf Grund der guten Fortschritte der F&E in diesem Bereich nimmt das IWI für Fasern an, dass die Marktpotenziale gut sind und prognostiziert eine jährliche Steigerung von 1,9%. Dies entspricht etwa der sechsfachen jährlichen Steigerung im TREND-Szenario und verläuft annähernd parallel zum Wirtschaftswachstum.

4.3.3 Annahmen zur energetischen Biomassenutzung

Im MAX-Szenario nehmen wir an, dass im Bereich der kaskadischen Forst-Biomasse ein höheres Aufkommen an SNP nur zu einer Erhöhung des Primärholzbedarfs von Papier- und Plattenindustrie führt und daher nur eine Verschiebung darstellt (s.o.). Dies spiegelt die Einschätzung wider, dass im TREND-Szenario bereits eine vollständige Nutzung des kaskadischen Potenzials im Bereich der forstlichen Biomasse zu erwarten ist. Das bedeutet, dass wir keinen höheren Einsatz von SNP im MAX-Szenario als im TREND-Szenario annehmen.

Abweichende Annahmen setzen wir im Bereich der kaskadischen Nutzung der sonstigen Biomasse an. Hier gehen wir davon aus, dass das Potenzial zur energetischen Nutzung von Getreidestroh Dissemmond und Zauchinger 1994) zu etwa drei Viertel genutzt wird. Weiters gehen wir davon aus, dass das technische Potenzial zur Gewinnung von AME, das laut TU-Studie (Haas et al. 2001) bei 1,4-2 PJ/a liegt, weitgehend genutzt wird. Laut Neubarth et al. (2000, 368) beträgt das theoretische Potenzial 1,9 PJ/a; das technische Potenzial wird pauschal auf Grund von Restriktionen der Sammellogistik mit 50% des theoretischen Potenzials (0,9 PJ/a) angegeben. Hier ist unsere Annahme auf Basis der TU-Studie etwas optimistischer. Im Bereich Biogas nehmen wir an, dass das Potenzial für Biogas laut TU-Studie zu 85% genutzt wird, jenes für Klärgas und Deponiegas zu 90%. Die Annahme eines höheren Umsetzungsgrades bei Klär- und Deponiegas ergibt sich daraus, dass es sich hierbei um Biomasse handelt, die stärker konzentriert an wenigen, größeren Standorten anfällt und daher organisatorisch leichter nutzbar ist.

Zum Biogaspotenzial ist anzumerken, dass sich dieses ausschließlich auf die Nutzung des Potenzials zur Vergärung tierischer Exkremate aus der Tierhaltung beschränkt, wobei sich in der Literatur auch wesentlich höhere Annahmen als die der TU finden. So errechnet etwa das Ökologie-Institut (Geissler et al. 1998, 16) ein theoretisches Biogas-Potenzial aus den Exkrementen der Nutztierhaltung (inklusive Einstreu) von 20,7 PJ/a. Bei diesem Wert ist schon berücksichtigt, dass die Hälfte der Exkremate der Rinderhaltung auf Grund der Freilandhaltung nicht genutzt werden können. Neubarth et al. (2000, 389) geben das theoretische Biogas-Potenzial landwirtschaftlicher Exkremate sogar mit 23,6 PJ/a an, kommen aber auf Grund verschiedener organisatorischer Hemmnisse – vor allem der Annahme, dass Biogasnutzung erst ab etwa 30 GVE pro Betrieb sinnvoll durchführbar ist – zu einem nutzbaren Potenzial, das in der Größenordnung des von der TU angegebenen Wertes liegt.

Eine deutliche Abweichung vom TREND-Szenario findet sich im Bereich Forst-Biomasse. Hier sind wir davon ausgegangen, dass im Rahmen einer Strategie der Maximierung der Biomassenutzung der Holzeinschlag im Wald dem Zuwachs angenähert wird. Konkret sind wir von einer Studie zur

Entwicklung des Holzaufkommens in Österreich bis zum Jahr 2016 ausgegangen, die von der FBVA in Zusammenarbeit mit dem Waldforschungsinstitut der BOKU im Auftrag der Österreichischen Sägeindustrie erstellt wurde (FBVA 1998). Im Szenario 2 dieser Studie wird eine deutliche Erhöhung des Holzeinschlages im Wald (+20%) angenommen. Dies würde vor allem bedeuten, dass durch geeignete Maßnahmen im Bereich des bäuerlichen Kleinwaldes eine deutliche Erhöhung des Holzeinschlages bis in die Nähe des nutzbaren Holzzuwachses erreicht würde (Nutzung von ca. 2/3 des derzeit nicht genutzten Zuwachses; vgl. auch Pretterhofer 1999). Dieses Holz wird dann annahmegemäß für die energetische Nutzung verwendet, d.h. die sonstigen Verhältnisse in der Holzindustrie (vgl. TREND-Szenario) bleiben unberührt. Diese Annahme erlaubt eine Ausweitung der energetischen Nutzung von heimischer Forst-Biomasse um 37,7 PJ/a (+56%) gegenüber unserer Schätzung für 2000 bzw. von 24,9 PJ/a (+31%) gegenüber dem TREND-Szenario. Der österreichische Wald würde dann sehr intensiv genutzt: Die Holzernte im Wald würde dann einen deutlich höheren Prozentsatz der oberirdischen NPP der Waldökosysteme ausmachen als heute (ca. 25%) und damit nur mehr knapp unter jenem Nutzungsniveau liegen, bei dem der Holzbestand mittelfristig abnimmt. Ob man ein derart hohes Nutzungsniveau als "nachhaltig" charakterisieren will ist angesichts der hohen ökologischen Bedeutung von Totholz in Waldökosystemen (vgl. Harmon et al. 1986) Geschmackssache.

Im Bereich der primären Acker-Biomasse, also dem eigentlich landschaftsrelevanten Teil der energetischen Biomassenutzung, nehmen wir folgende zwei Entwicklungen an. Im Bereich Bio-Kraftstoffe folgen wir der Forderung der sogenannten "Puchberger Erklärung" des österreichischen Biomasse-Verbands nach einer Gewinnung von 7 PJ/a an Biotreibstoffen (Österreichischer Biomasse-Verband 2000b). Hiervon decken wir, wie bereits diskutiert, 1,5 PJ/a aus AME; der Rest von 5,5 PJ/a wird in Form von RME aufgebracht.

Die Energiebilanz von Bio-Treibstoffen ist generell im Vergleich zu anderen Nutzungswegen für Biomasse relativ ungünstig. Einen wesentlichen Einfluss auf die Bilanz hat die Bewertung der Nebenprodukte (Rapsextraktionsschrote, Schlempe etc.). Ohne Berücksichtigung dieser Nebenprodukte weisen die meisten biogenen Kraftstoffe eine negative Energiebilanz auf, d.h. es muss mehr (Fossil-)Energie zu ihrer Herstellung aufgewendet werden als Energie in Form von biogenem Kraftstoff gewonnen werden kann (vgl. 3. Spalte von Tabelle 16).

Etwas besser wird die Situation bei Berücksichtigung der Nebenprodukte (2. Spalte von Tabelle 16), wobei die Frage der Zurechnung der Inputs zu den Outputs nach verschiedenen Prinzipien erfolgen kann, was zu deutlich unterschiedlichen Ergebnissen führt. Da wir in unserem Biomasse-Flussmodell eine Verwendung der Nebenprodukte im Viehsektor unterstellen, ist eine Bewertung unter Berücksichtigung der Nebenprodukte adäquater. Auch diese ergibt allerdings, verglichen mit anderen Biomassenutzungswegen, kein besonders gutes Verhältnis zwischen Fossilenergieinput und Energieertrag. So liegt etwa der Fossilenergieinput bei Pellets, Waldhackgut und Scheitholz etwa bei 3% bis 5% des Energieoutputs in Form von Brennstoff, was einem Output/Input-Verhältnis von 20 bis 33 entspricht (Neubarth et al. 2000, 335). Demgegenüber liegt das Output/Input-Verhältnis von Ethanol und Biodiesel zwischen 0,8 und 5 (siehe Tabelle 16).

Tabelle 16. Energetische Bewertung von Bio-Treibstoffen in der Literatur

	Output / Input Haupt- und Nebenprodukt	Output / Input nur Hauptprodukt
Ethanol		
Ethanol-1 laut ÖFZS ¹	2-3	0,3-0,9
Ethanol-2 laut ÖFZS ²	ca. 0,8	ca. 0,4
Ethanol aus Weizen laut Neubarth ³	2,2-2,9	1,2
Ethanol aus Zuckerrübe laut Neubarth ³	2,7-3,4	1,9
Ethanol laut Giampietro et al. ⁴		0,5-1,7
Biodiesel		
Rapsöl, Sonnenblumenöl und RME laut ÖFZS	4-5	1,0-2,3
RME laut Neubarth ⁵	2,5-3,0	1,8
Biodiesel laut Giampietro et al. ⁶		0,6-1,3
RME laut Reinhardt ⁷	1,8-4	

¹ auf Basis von Mais, Weizen, Gerste, Körnererbse, Ackerbohne, Zuckerrübe; Quelle: Knoflacher et al. 1991.

² ÖFZS-Studie: Ethanol auf Basis von Kartoffeln.

³ Neubarth et al. 2000, S. 374

⁴ Werte für temperate Gebiete laut Giampietro et al. 1997, 588

⁵ Neubarth et al. 2000, S. 372

⁶ Biodiesel aus Raps, Sonnenblume oder Soja laut Giampietro et al. 1997.

⁷ Biodiesel aus Raps laut Reinhardt 1993.

Auch wenn es Ausreißer gibt (vgl. Ethanol aus Zuckerrüben laut Neubarth et al., 2000) und manche Studien kaum Unterschiede finden (Giampietro et al. 1997), deuten vor allem die Zahlen des ÖFZS (Knoflacher et al. 1991) darauf hin, dass RME tendenziell eine günstigere Energiebilanz aufweisen dürfte als Ethanol. Wir nehmen daher keine Gewinnung von Biotreibstoffen in Form von Ethanol an. Wir gehen also davon aus, dass bis zur Grenze der Fruchtfolgebeschränkung²⁶ (Lütke Entrup 1986, Sperber et al. 1988, Waskow 1998) – die wir bei 5,5 PJ/a RME in unserem Modell gerade erreichen – der energetisch effizientere Weg über RME beschritten wird. Für diese Annahme spricht auch der Umstand, dass in Österreich derzeit bereits RME gewonnen wird, sodass hier an bestehende Erfahrungen angeschlossen werden kann. Ob diese Pfade im Fall deutlich höherer Preise für Fossilenergie angesichts der relativ ungünstigen Verhältnisse zwischen Fossilenergieinput und Ertrag ökonomisch lebensfähig wären, muss unbeantwortet bleiben.

Weiters nehmen wir an, dass die gesamte dann noch freie Ackerfläche bis zur "Ack_{max}" (siehe Tabelle 14) zur Energiegewinnung genutzt wird. Hier nehmen wir an, dass Kurzumtriebswälder angelegt werden. Dieser Nutzungsweg wurde aus den folgenden Gründen gewählt: Kurzumtriebswälder erreichen einen beträchtlichen nutzbaren Biomasseertrag (ca. 0.8-0.9 kg Trockensubstanz pro m² und Jahr im Mittel der Umtriebszeit von 5 Jahren) bei vergleichsweise geringem Input an Dünger und Pestiziden (Waskow 1998, Raschka pers. Komm.) Der Düngerinput ist deshalb relativ gering, weil die viel Stickstoff enthaltenden Pflanzenteile (Blätter) jedes Jahr zu Boden fallen und teilweise remineralisiert werden, sodass nur der Stickstoffzug durch die Ernte an Holz – das relativ wenig Stickstoff enthält – ausgeglichen werden muss. Dazu kommt, dass in Kurzumtriebswäldern erheblich mehr Energie im Ökosystem verbleibt und die Störungen in Form von Biomasseernte nur alle 5 Jahre erfolgen. Kurzumtriebswälder dürften daher aus Gründen der Erhaltung der Artenvielfalt und aus anderen ökologischen Gründen (Düngerinput, Energieinput, Pestizide etc.) konventionellen Ackerpflanzen deutlich überlegen sein.

Die Alternative der Ganzpflanzenverbrennung (Verbrennung von Stroh und Korn von Weizen, Gerste etc.) erreicht zwar ähnliche oder etwas höhere Biomasseerträge, erfordert aber wesentlich höhere Düngergaben, weil im Korn relativ große Mengen an Pflanzennährstoffen, vor allem Stickstoff, in Form von Proteinen gebunden vorliegen, die dann bei der Verbrennung zu entsprechenden Problemen mit Stickoxiden führen. Der Nachteil der Kurzumtriebswälder gegenüber der Ganzpflanzenverbrennung – das Fehlen einer großtechnisch hergestellten Technik an Erntemaschinen – ist zwar ein beträchtliches

²⁶ Wir gingen von einer Fruchtfolgebeschränkung von 5 Jahren (20%) aus. Für jene HPGs, in denen von 1950 bis 1995 kein Raps angebaut wurde, gingen wir davon aus, dass Raps in diesen Gebieten nicht oder nur kaum angebaut werden kann.

ROLAND
Themenheft **“Biomasseeinsatz und Landnutzung“**

Hemmnis für die Markteinführung derartiger Systeme, dürfte aber bei einer Nutzung in der hier betrachteten Größenordnung (665 km², jährlicher Energieertrag von 10 PJ H_u) überwindbar sein.

Wesentliche ökonomische Hemmnisse gegenüber dieser Maßnahme bestehen allerdings darin, dass sich Bauern beim Anlegen von Kurzumtriebswäldern langfristig auf diese „Feldfrucht“ festlegen müssen, erstens weil zumindest die Umtriebszeit von fünf Jahren abzuwarten ist, und zweitens weil die bei der Ernte im Boden verbleibenden Wurzeln eine andere Nutzung zumindest stark erschweren. Dazu kommt, dass der Einstieg in diese Kultur wegen der langen Umtriebszeit erhebliches Startkapital erfordert. Die Realisierung dieser Maßnahme würde daher wahrscheinlich entweder sehr hohe, langfristig verbindliche Förderzusagen oder andere innovative Instrumente bzw. massive Veränderungen der institutionellen Rahmenbedingungen erfordern.

Im Großen und Ganzen würde sich das Ergebnis bei Annahme einer anderen Energiekultur (etwa Ganzpflanzenverbrennung von Getreide), was den Energieertrag (Tabelle 16) betrifft, nicht dramatisch verändern. Allerdings wäre die ökologische Bewertung – etwa der Energieinput bzw. der Düngerinput – deutlich schlechter. Bei Stroh nehmen wir an, dass das Energiepotenzial laut Dissemond und Zauchinger (1994) zu etwa 80% genutzt wird.

Die Ergebnisse dieser Berechnungen sind in Tabelle 17 zusammengefasst.

Tabelle 17. Aufbringung von Biomasse für energetische Nutzung im TREND- und im MAX-Szenario in Energieeinheiten (PJ/a, H_u)

	IST 2000	TREND 2020	MAX 2020
1. Biomasse kaskadisch			
1.1 Forst-Biomasse	54,6	73,8	73,8
SNP und wiederverwertetes Holz	22,9	24,5	24,5
Rinde	9,3	14,1	14,1
Ablauge Papierindustrie	22,4	35,2	35,2
1.2 Sonstige Biomasse	4,1	14,2	22,9
Rückstände Ackerland inkl. Stroh	0,2	0,5	4,0
Biogener Anteil MVA	2,0	4,1	4,1
AME	0,0	0,8	1,5
Biogas, Klärgas, Deponiegas	1,9	6,2	13,3
Tiermehlverbrennung	0,0	2,7	2,7
Summe kaskadisch	58,8	88,0	96,7
2. Biomasse primär			
2.1 Forst-Biomasse	67,2	80,0	104,9
2.2 Acker-Biomasse primär	0,6	1,2	15,5
RME	0,6	1,2	5,5
Sonstige Energieplantagen am Acker	0,0	0,0	10,0
Summe primär	67,8	81,2	120,4
Gesamtsumme	126,6	169,2	217,1

Quellen: Eigene Berechnungen (vgl. Text).

Dieses Ergebnis kann folgendermaßen interpretiert werden: Unter der Annahme, dass (1) Österreich weiter im Bereich landwirtschaftlicher Produkte einen ähnlichen Selbstversorgungsgrad aufrecht erhalten will wie heute, (2) nur moderate Steigerungen der Erträge angestrebt werden, (3) die stoffliche Nutzung von nachwachsenden Rohstoffen vergleichsweise gering bleibt und (4) der Wald fast bis zur Grenze des jährlichen Zuwachses genutzt wird und (5) alle Ackerflächenpotenziale vollständig genutzt werden, können in Österreich jährlich etwa 120 PJ/a Biomasseenergie aus Primärbiomasse für energetische Nutzung gewonnen werden. Deutliche Steigerungen dieses Werts müssten zu Lasten anderer Flächennutzungen gehen. Dies wäre etwa möglich durch (1) Verkleinerung des Viehsektors, etwa durch Erhöhung des vegetarischen Anteils an der Ernährung, und / oder (2) massive Netto-Agrarimporte, und / oder (3) deutliche Ertragssteigerungen durch weitere

Intensivierung der Landwirtschaft. Dies wird bei Betrachtung des Biomasseflussmodells (s.u.) anhand der gewaltigen Bedeutung des Viehsektors für die Biomasseflüsse in Österreich deutlich.

Gelingt es darüber hinaus, ein kaskadisches Potenzial von etwa 90-100 PJ/a zu nutzen, so ist es vorstellbar, eine jährliche Nutzung von Biomasse in der Größenordnung von 210-220 PJ/a anzustreben. Dieser Wert stellt bei Beibehaltung der derzeit angestrebten agrarpolitischen Zielsetzungen (Kleinräumigkeit der Landwirtschaft etc.) eine obere Grenze für die energetische und stoffliche Nutzung von Biomasse dar und können allenfalls durch die Nutzung von kaskadischen Potenzialen (siehe SUST-Szenario) noch etwas gesteigert werden, wobei die Nutzung mancher dieser Potenziale (vor allem im Bereich Stroh) auch zu Flächenkonkurrenzen führen könnte (siehe SUST-Szenario).

Zur Interpretation dieser Zahlen haben wir – aus illustrativen Gründen – diese Biomassemenge auf die bereits im vorigen Kapitel dargestellten Bereiche der Energienachfrage (Endenergieeinsatz und Umwandlungseinsatz) verteilt, wobei wir für den Vergleich mit der business as usual Entwicklung wiederum von den Zahlen des WIFO-Baseline-Szenarios (Kratena und Schleicher 2001) ausgehen. Das WIFO hat neben dem Baseline-Szenario auch ein sogenanntes "Kyoto-Szenario" und ein "Nachhaltigkeitsszenario" erstellt, wobei das Kyoto-Szenario einen etwas höheren Einsatz von Biomasse (der allerdings weit unter dem Wert in unserem MAX-Szenario liegt) annimmt, während das Nachhaltigkeitsszenario auf Grund der Annahme einer deutlich steigenden Energieeffizienz sowie der Verfügbarkeit von CO₂-armen oder CO₂-freien solaren bzw. anderen erneuerbaren Technologien (Windkraft, Photovoltaik etc.) einen geringeren Biomasseeinsatz als im Baseline-Szenario ergibt.²⁷

Dies soll vor allem als Hinweis darauf dienen, dass Wechselwirkungen zwischen der Steigerung der Energieeffizienz (vor allem im Bereich der Raumwärme) und dem Potenzial zum Einsatz von Biomasse bestehen, die wir in unseren Szenariorechnungen nicht modellieren konnten. Andererseits wird selbst im WIFO-Nachhaltigkeitsszenario insgesamt noch so viel Fossilenergie benötigt, dass die hier ermittelten Biomassemengen wahrscheinlich selbst in diesem Fall noch auf dem Markt untergebracht werden könnten, wenn auch möglicherweise nicht in der hier unterstellten Verteilung auf Sektoren. Zudem dürfte die im MAX-Szenario unterstellte Ausweitung der Biomassenutzung wahrscheinlich nicht der kostenoptimale Pfad sein, da das WIFO in seinem Nachhaltigkeitsszenario offenbar andere Optionen für wirtschaftlich sinnvoll gehalten hat als den Ausbau der Biomassenutzung.

Bei der Verteilung der laut Tabelle 17 verfügbaren Biomassemenge auf Nachfragesektoren wurden in Anlehnung an Daten der TU-Wien folgende Annahmen getroffen: (1) Nutzung von zusätzlich ca. 20 PJ/a gegenüber dem TREND-Szenario im Jahr 2020 als Heizenergieträger im Bereich der Haushalte (zum Vergleich: Die TU-Studie hält in einem ambitionierten Szenario ein Potenzial von +14 PJ/a bis 2010 durch Umstellung von 200.000 Haushalten auf Biomasse für denkbar). (2) Steigerung der Biomasseverstromung gegenüber dem TREND-Szenario um 1/3 des in der "Puchberger Erklärung" (Österreichischer Biomasse-Verband 2000b) genannten Werts, (3) Steigerung des Einsatzes an Biomasse in KWK-Anlagen der Fernwärme-Versorgungsunternehmen gegenüber dem TREND-Szenario um 10 PJ/a und (4) Steigerung des Einsatzes an Biomasse in industrieller KWK gegenüber dem TREND-Szenario um 7,7 PJ/a. Die Ergebnisse sind in Tabelle 18 dargestellt.

²⁷ Beide Szenarien weisen einen deutlich geringeren Gesamt-Energieeinsatz auf als das Baseline-Szenario, d.h. würde man in diesen Szenarien die hier dargestellten Biomassemengen einsetzen, so wäre der biogene Anteil deutlich höher als hier dargestellt.

ROLAND
Themenheft "Biomasseinsatz und Landnutzung"

Tabelle 18. Nachfrage nach biogenen Energieträgern im MAX-Szenario im Vergleich zum WIFO-Baseline-Szenario, Heizwert (H_u)

	2000 [PJ/a]	2020 [PJ/a]	Anteil am Energieeinsatz 2020 ¹
Endnachfrage	105,6	145,5	13%
Haushalte	72,9	81,4	34%
Kleinverbraucher ohne Haushalte	7,9	10,9	5%
Industrie	24,3	46,2	15%
Verkehr funktionell (Treibstoffe)	0,6	7,0	2%
Umwandlungseinsatz	21,0	71,6	24%
Kraftwerke EVU	0,2	9,2	5%
Fernwärme-Versorgungsunternehmen	5,8	25,9	56%
Kraft-Wärme-Kopplung Industrie	14,9	36,5	46%
Summe	126,6	217,1	15%¹

¹ Prozent des Endenergie-, Umwandlungs- bzw. Gesamtenergieeinsatzes laut WIFO-Baseline-Szenario.

Der Anteil der Biomasse am Endenergieeinsatz (laut WIFO-Baseline-Szenario) im Jahr 2020 würde in diesem Szenario 13% betragen, der Anteil am Umwandlungseinsatz etwa 24%. Etwa 15% des Gesamtenergieeinsatzes im WIFO-Baseline-Szenario könnten in diesem Fall mit Biomasse gedeckt werden.

Tabelle 19. Strom- und Wärmeerzeugung im MAX-Szenario 2020

	Input [PJ/a]	Strom [GWh/a]	Wärme [PJ/a]
Tiermehlverbrennung	2,7	309	0,0
Biogas Landwirtschaft	7,9	510	0,6
Deponie- und Klärgas	5,4	261	0,8
Biogener Anteil Müllverbrennung	4,1	90	2,8
Biomasse in Kondensationskraftwerken	6,5	758	0,0
Biomasse in industrieller KWK	23,1	1561	14,1
Biomasse in FWVU-KWK	21,9	1477	13,3
Summe	71,6	4966	31,6

Quelle: Eigene Berechnungen auf Basis der oben dargestellten Annahmen über die Aufteilung des Biomasseaufkommens auf verschiedene Bereiche des Endenergie- und Umwandlungseinsatzes.

Es zeigt sich, dass in diesem Szenario knapp 5000 GWh/a Strom aus Biomasse gewonnen werden könnten (ca. 7% der inländischen Erzeugung im Jahr 2020 laut WIFO-Baseline-Szenario); dies liegt etwas unter dem technischen Potenzial laut TU-Studie (Haas et al. 2001, S. 54). Die Erzeugung von Fernwärme liegt etwa bei der Hälfte des Endenergieeinsatzes an Fernwärme laut WIFO-Baseline-Szenario im Jahr 2020. Zu beachten ist wie im TREND-Szenario, dass „biogener“ Strom nicht mit „Ökostrom“ laut EIWOG gleichzusetzen ist.

4.3.4 Das MAX-Biomassefluss-Modell für 2020

Die Ergebnisse der Modellrechnungen sind in den Abbildungen A10, A11 und A12 im Anhang zusammengefasst.

Abbildung A10 zeigt die landwirtschaftlichen Biomasseflüsse. Die heimische Biomasseproduktion (DE für "Domestic Extraction" = Inlands-Entnahme) steigt gegenüber dem TREND-Szenario deutlich um rund 6% auf 18,96 Mt TM, wovon allerdings auch deutlich mehr am Acker verbleibt (+331.000 t TM). Der Nettoimport ist mit 467.000 t TM (3% der Inlandsverwendung) deutlich geringer als im TREND-

Szenario, was vor allem auf den Einsatz der bei der RME-Produktion gewonnenen Extraktionsschrote im Viehsektor zurückzuführen ist. Die energetische Nutzung von Ackerland-Produkten steigt massiv an, was zum Teil auf die erhöhte Strohnutzung, vor allem aber auf die Nutzung der Kurzumtriebswälder zurückzuführen ist. Auch der Fluss vom Verarbeitungssektor in die energetische Nutzung steigt auf Grund des erhöhten Einsatzes an RME deutlich an. Die Zuwächse im Bereich der stofflich genutzten nachwachsenden Rohstoffe vom Ackerland sind demgegenüber bescheiden (vgl. Anhang, Abb. A7 und Abb. A10).

Abbildung A11 zeigt die Flüsse an forstlicher Biomasse. Während der Nettoexport von 323.000 t TM annahmegemäß konstant bleibt, steigt die Inlandsaufbringung um knapp 1,4 Mt TM an, wodurch die energetische Nutzung von Holz entsprechend erhöht werden kann.

Abbildung A12 zeigt die Summe an land- und forstwirtschaftlicher Biomasse. Die Inlandsproduktion an Biomasse wird in diesem Szenario deutlich (um knapp 2,4 Mt TM, das sind +8% gegenüber 1995) gesteigert. Wie bereits oben dargestellt, steigt die energetische Nutzung an Biomasse massiv an, während die materielle Nutzung sich nur geringfügig verändert. Hierzu ist allerdings anzumerken, dass wir eine Erhöhung des Einsatzes an Holz für die materielle Nutzung gegenüber dem TREND-Szenario nicht berücksichtigt haben; sollte eine solche beabsichtigt sein, so würde sich das Potenzial für die energetische Nutzung entsprechend verringern; zumindest dann, wenn eine Deckung dieser Nachfrage im Inland angestrebt würde.

4.3.5 Veränderungen der Landnutzung 1995/2020 im MAX-Szenario

Die folgende Tabelle 20 stellt die Entwicklung der Landnutzung im MAX-Szenario in den 8 HPGs dar. Die Ausweitung des Ackerlandes (822 km²) geht zur Gänze zu Lasten des Grünlandes, d.h. wir nehmen keinen Rückgang der Verwaldung im MAX-Szenario gegenüber dem TREND-Szenario an.

Tabelle 20. Hauptkategorien der Landnutzung in den 8 Hauptproduktionsgebieten im MAX-Szenario 2020.

	Siedlungs- und Verkehrs- flächen [km ²]	Acker- und Gartenland [km ²]	Grünland [km ²]	Wald [km ²]	Sonstiges [km ²]	Gesamt [km ²]
Hochalpen	793	379	9.833	12.825	5.963	29.793
Voralpen	396	213	1.852	6.466	314	9.242
Alpenostrand	551	784	1.902	7.504	193	10.934
Wald- und Mühlviertel	418	2.134	1.340	3.585	79	7.557
Kärntner Becken	221	443	409	1.354	67	2.493
Alpenvorland	993	3.241	1.788	2.416	171	8.609
Südöstliches Flach- und Hügelland	515	1.721	381	2.363	42	5.022
Nordöstliches Flach- und Hügelland	1.304	5.521	188	2.861	334	10.208
Österreich	5.191	14.436	17.693	39.375	7.164	83.859

Quelle: Eigene Berechnungen.

Im Unterschied zum TREND-Szenario nehmen wir an, dass im MAX-Szenario die Brachflächen vollständig zur Gewinnung von Energie und stofflich genutzten nachwachsenden Rohstoffen genutzt werden. Es gibt daher im MAX-Szenario am Ackerland keine Brachflächen. Die Verteilung der Ackerfläche auf Feldfruchtaggregate zeigt Tabelle 21.

Tabelle 21. Anteil der 12 Feldfruchtaggregate am österreichischen Ackerland im Jahr 2020 im MAX-Szenario.

	Anbaufläche 1995 [km ²]	Anbaufläche 2020 MAX [km ²]	Anteil 2020 MAX [%]
Brotgetreide	3.283	3.058	22%
Futtergetreide	2.977	2.506	18%
Körnermais	1.701	1.644	12%
Silomais	902	870	6%
Körnerfrüchte	406	613	4%
Kartoffel	268	374	3%
Zuckerrübe	511	431	3%
Raps	871	1.740	13%
Sonnenblume	281	309	2%
Klee, Egarten	1.124	857	6%
Kurzumtriebswälder	1.216	665	5%
Sonstige Feldfrüchte	295	608	4%
Ackerland Gesamt	13.837	13.674	100%

Quelle: Eigene Berechnungen.

Es zeigt sich, dass die Rapsfläche in diesem Szenario bereits 1.740 km² (13% der Ackerfläche in MAX im Vergleich zu 5% der Ackerfläche in TREND) erreicht, wobei ein erheblicher Teil (1.330 km² oder fast 10% der Ackerfläche) dieser Fläche auf den Anbau von Raps zum Zweck der Gewinnung von RME entfällt. Die Rapsfläche erreicht damit in den für Rapsanbau geeigneten Gebieten die Größenordnung der Fruchtfolgebegrenzung (Lütke Entrup 1986, Sperber et al. 1988, Waskow 1998), d.h. dies stellt eine Obergrenze für den Rapsanbau in Österreich dar.

Bedenkt man, dass mit diesem massiven Programm lediglich 5,5 PJ Treibstoff gewonnen werden (1,7% des Treibstoffverbrauchs in Österreich 2020 laut WIFO-Baseline-Szenario), so wird deutlich, dass biogene Treibstoffe, falls überhaupt, bestenfalls eine begleitende Maßnahme zur Ökologisierung des Verkehrssektors darstellen. Eine Treibstoffmenge von 5,5 PJ/a liegt im Ungenauigkeitsbereich der Prognose und weit unter den durch Nutzung von Einsparpotenzialen (z.B. "Drei-Liter-Auto", mobilitätssparende Siedlungsentwicklung, Förderung des öffentlichen Verkehrs, Parkraumbewirtschaftung etc.) zu bewegenden Mengen. Dabei ist noch nicht berücksichtigt, dass der Netto-Energieertrag deutlich geringer ist als 5,5 PJ, weil zur Erzeugung von RME Energie nötig ist. Je nach Output/Input-Verhältnis, das tatsächlich erzielt wird, dürfte dieser Aufwand bei 1,5-2,5 PJ/a liegen (vgl. Tabelle 16); d.h. der Netto-Energieertrag würde bei etwa 3-4 PJ/a liegen (0,9-1,2% des Treibstoffbedarfs 2020). Ob angesichts dieses geringen Netto-Energieertrags die erheblichen ökologischen Auswirkungen (Flächeninanspruchnahme, Stickstoffdüngung etc.) gerechtfertigt sind, mag dahingestellt bleiben.

Zum Vergleich: Der Beitrag der Kurzumtriebswälder, die lediglich etwa 665 km² (5% der Ackerfläche) ausmachen, beträgt etwa 10 PJ/a. Pro Flächeneinheit ist damit der Brutto-Energieertrag der Kurzumtriebswälder etwa 3,5 mal höher als jener von RME. Bei Kurzumtriebswäldern liegt das Output/Input-Verhältnis jedenfalls deutlich besser und dürfte etwa zwischen 10 und 20 liegen.²⁸ Der Netto-Energieertrag ist daher bei Kurzumtriebswäldern noch wesentlich höher als bei RME. Würde man statt Kurzumtriebswäldern auf Getreide-Ganzpflanzenverbrennung setzen, wäre der Brutto-Energieertrag ähnlich, der Netto-Energieertrag wegen des höheren Aufwands (Pflügen, höherer Düngerbedarf, Pestizide etc.) jedoch deutlich geringer. Probleme bereiten Kurzumtriebswälder allerdings in der Praxis, da sich der Landwirt über einen Zeitraum von mindestens 5 Jahren auf diese Kultur festlegen muss, die Erntetechnik derzeit noch nicht ausgereift ist und die nachfolgende Bodennutzung wegen der Wurzelbildung der Kurzumtriebswälder erschwert wird.

²⁸ Für Waldhackgut beträgt das Verhältnis Output/Input ca. 30, für Pellets ca. 21 (Neubarth et al. 2000). Der Energieeinsatz bei der Ernte dürfte bei Kurzumtriebswäldern ähnlich sein. Auf Grund der Düngung am Beginn der Umtriebsperiode dürfte das Output/Input-Verhältnis zwar verschlechtert werden, jedoch bei weitem nicht derart ungünstige Werte erreichen, wie sie im Intensiv-Ackerbau üblich sind (ca. 3-5; vgl. Pimentel et al. 1990), weil (1) die ganzen Pflanzen genutzt werden können und nicht nur die Samen und (2) der Aufwand bei der Kultivierung viel geringer ist: keine Pestizide, Düngung ein mal pro Umtriebsperiode, kein Pflügen etc.

4.4. Das SUST-Szenario

Im Unterschied zum MAX-Szenario besteht die Philosophie dieses Szenarios in der Ausschöpfung des Potenzials zur kaskadischen Nutzung von Biomasse statt der Erhöhung der Primärentnahme. Das SUST-Szenario soll also untersuchen, wie viel Biomasse für Energiegewinnung und stofflich genutzte nachwachsende Rohstoffe bereit gestellt werden könnte, ohne die HANPP im Vergleich zum TREND-Szenario zu erhöhen.

Die Bezeichnung als "Nachhaltigkeits-Szenario" beruht auf der angestrebten schonenden Inanspruchnahme natürlicher Ressourcen, insbesondere was die Intensität der Landnutzung und die gesellschaftlichen Eingriffe in den Energiehaushalt von Ökosystemen betrifft, meint aber nicht, dass der von uns modellierte Zustand im Jahr 2020 "nachhaltig" wäre, oder dass das Szenario umfassend in diese Richtung optimiert wurde. Dazu hätte man zahlreiche andere Bereiche wie z.B. die Ernährung, den Viehsektor, eine Verminderung des Energiebedarfs etc. einbeziehen müssen, was den Rahmen dieser Untersuchung gesprengt hätte.

4.4.1 Annahmen zur stofflichen Nutzung von nachwachsenden Rohstoffen

Wir übernehmen in diesem Szenario die Annahmen des MAX-Szenarios, die ohnehin auf Grund der geringen Mengen keine maßgeblichen Auswirkungen auf die Flächennutzung haben.

4.4.2 Annahmen zur energetischen Biomassenutzung

Im Bereich der kaskadischen Forst-Biomasse übernehmen wir aus den bereits in Kapitel 4.5 und 4.6 diskutierten Gründen den Wert des TREND-Szenarios. Die einzige Ausnahme betrifft den Bereich „wiederverwertetes Holz“, also die energetische Nutzung von Altholz. In der Literatur gibt es unterschiedliche Angaben über zusätzliche Potenziale zur energetischen Nutzung von Altholz. Nach einer Abschätzung des oberösterreichischen Energiesparverbandes (zitiert nach Haas et al. 2001) besteht in diesem Bereich ein Potenzial von 1,7 PJ/a. Die TU-Studie (Haas et al. 2001) ergab ein theoretisches Potenzial von bis zu 37 PJ/a, wobei allerdings auf die großen technischen Probleme der Nutzung von Altholz (z.B. Emissionsprobleme bei behandeltem Holz) hingewiesen wird. Unsere Annahme einer zusätzlich nutzbaren Menge von 5,2 PJ/a beruht auf einer Studie des Ökologie-Institutes (Geissler et al. 1998), wovon 0,7 PJ/a auf den Holzanteil im Systemmüll und im Sperrmüll entfallen, während wir vom in dieser Studie angegebenen Potenzial an Holzabfällen aus Baustellenabfällen, Bau- und Abbruchholz lediglich die Nutzung von 50% (4,5 PJ/a) unterstellt haben.

Die Annahme bezüglich AME wird aus dem MAX-Szenario übernommen. Hinsichtlich RME schreiben wir den Wert des Jahres 1998 (0,59 PJ/a) konstant fort, sodass wir so wie im TREND-Szenario in Summe 2,1 PJ/a Biotreibstoffe im Jahr 2020 einsetzen. Auf Grund des ungünstigen Verhältnisses von Energieinput zu Energieoutput sowie der großen Flächeninanspruchnahme (und der entsprechend hohen HANPP) wird diese Option der Biomassenutzung in diesem auf Nachhaltigkeit orientierten Szenario nicht verstärkt verfolgt.

Ein sehr beträchtliches Potenzial könnte durch den Anbau von strohreicheren Getreidesorten mobilisiert werden. Die von uns hier angestellten Berechnungen zeigen, dass die in der TU-Studie zitierte Annahme eines Potenzials von 9 PJ/a eine sehr vorsichtige Abschätzung darstellt. Der Grund dafür ist, dass das für energetische Nutzung verfügbare Strohpotenzial die Differenzgröße zwischen Strohaufkommen und Stroeinsatz für Einstreu und Einackerung darstellt. Eine bescheidene Erhöhung des Strohaufkommens kann daher bei gleichbleibendem Bedarf für Einackerung und Einstreu die Differenzgröße ganz erheblich verändern.

Wir haben hier ein Szenario modelliert, in dem wir folgende Annahmen getroffen haben: Verminderung des Korntrages pro Flächeneinheit um 10% gegenüber der TREND-Ertragsprognose, Erhöhung des Strohertrages um ca. 35% gegenüber der TREND-Ertragsprognose. Dies entspricht einem Harvest-Index wie er in Österreich etwa Mitte der 1970er Jahren üblich war (vgl. Weisz et al. 1999). Der in einem solchen Szenario anzunehmende Stickstoffentzug der Pflanzen pro Hektar ist in der gleichen Größenordnung (130 kg N je ha) wie der im TREND-Szenario. Neben der Nutzung strohreicher Getreidesorten auf der bestehen Ackerfläche laut TREND-Szenario nehmen wir hier weiters eine Ausdehnung der Ackerfläche zulasten der Ackerbrache an. Insgesamt erhöht sich der

Stickstoffentzug und damit der zum Ersatz erforderliche Aufwand an N-Dünger im Getreideanbau durch die höhere Anbaufläche (+619 km²; etwa gleich viel wie die Energieplantagen im MAX-Szenario) um etwa 10% im Vergleich zum TREND-Szenario.

Tabelle 22. Auswirkungen eines Anbaus strohertragsreicherer Getreidesorten auf die Verfügbarkeit von Stroh für energetische Nutzung

	Kornertrag [kgTS/ha]	Strohertrag [kgTS/ha]	Fläche [km ²]	Körnerernte [1000t TS/a]	Strohernte [1000t TS/a]
TREND-Szenario					
Brotgetreide	4,6	3,7	3.058	1.394	1.133
Futtergetreide	4,4	4,0	2.506	1.099	994
Summe			5.564	2.493	2.127
Bedarf Einstreu etc.					1.780
Freies Strohpot theoretisch					347
Nutzung d. Potenzials					16 (4,64%)
SUST-Szenario					
Brotgetreide	4,1	5,0	3.398	1.403	1.715
Futtergetreide	4,0	5,2	2.784	1.101	1.460
Summe			6.183	2.504	3.175
Bedarf Einstreu etc.					1.780
Freies Strohpot theoretisch					1.394
Nutzung d. Potenzials					697 (50%)

Quelle: Eigene Berechnungen.

Wie Tabelle 22 zeigt, ergibt sich durch den Einsatz strohreicherer Getreidesorten gemäß unseren Annahmen ein mengenmäßig sehr beachtliches Potenzial zur Gewinnung von Stroh für die energetische Nutzung in „Kuppelproduktion“. In unserer Szenariorechnung nehmen wir vorsichtiger Weise eine Nutzung dieses Potenzials von lediglich 50% an. Zu bemerken ist, dass sowohl die Abschätzungen des Bedarfs an Stroh für Einstreu, Einackerung etc. in der einzigen für diesen Bereich verfügbaren Studie (Dissemond und Zauchinger 1994) nur bedingt nachvollziehbar ist. Es ist also möglich, dass das Strohpotenzial von dieser Studie deutlich unterschätzt wird (C. Rakos, *pers. Komm.*, 2001), worauf auch unsere Modellergebnisse hinweisen. Die von uns hier angestellten Berechnungen verdeutlichen, dass eine solche Strategie der „Kuppelproduktion“ am Ackerland beträchtliche Potenziale aufweisen könnte, wobei allerdings noch viele Fragen offen sind. Auf Grund der Tatsache, dass einige Umstände für eine gute ökologische Bewertung einer solchen Strategie sprechen – geringe HANPP-Wirksamkeit, Verbrennung der stickstoffarmen Pflanzenteile, optimale Nutzung der gesamten Pflanze –, sehen wir in diesem Bereich Forschungsbedarf bezüglich Wirtschaftlichkeit, Pflanzenzüchtung, Umsetzungsmaßnahmen, ökologischen Auswirkungen und Nutzungstechnologien.

Eine weitere wesentliche Annahme betrifft die Biogasproduktion. In diesem Bereich unterstellen wir eine weitere Steigerung gegenüber dem MAX-Szenario, die durch eine bescheidene Nutzung feuchter Rückstände am Ackerland (Zuckerrübenblätter und Maisstroh) erreicht wird. Konkret gehen wir in diesem Szenario davon aus, dass 10% des Körnermaisstrohs und 20% der Zuckerrübenblätter, das laut unseren Modellrechnungen anfällt, in Biogasanlagen energetisch verwertet werden, wobei wir die technischen Faktoren von Neubarth et al. (2000) unterstellt haben.

Zu beachten ist, dass es für diesen Nutzungsweg nicht unbeachtliche technische Probleme auf Grund des Umstandes gibt, dass diese Biomasse mengen während des Jahres innerhalb einer kurzen Zeit anfallen, wohingegen Biogasanlagen einen im Jahresverlauf etwa gleichbleibenden Input an Biomasse benötigen. Dies müsste z.B. durch Lagerung gelöst werden. Dennoch ist darauf hinzuweisen, dass in diesem Bereich recht beträchtliche mengenmäßige Potenziale für eine energetische Nutzung von Biomasse vorliegen, die nicht zu einer Erhöhung der HANPP führen würde. Diese schöpfen wir in diesem Szenario nur zu einem kleinen Prozentsatz aus. Die Überwindung der technischen und ökonomischen Hemmnisse für die Nutzung dieser Potenziale sind allerdings

beträchtlich und würden die Entwicklung innovativer Technologien und Nutzungsstrategien erfordern (Forschungsbedarf).

Zusätzlich zur Nutzung von Maisstroh und Zuckerrübenblättern gehen wir von einer Nutzung des technischen Potenzials zur Nutzung von industriell-gewerblichen Bioabfällen und biogenen Rückständen in Biogasanlagen aus (Neubarth et al. 2000). Beide Maßnahmen zusammen bringen im SUST-Szenario eine zusätzliche Nutzung von Biogas gemäß Tabelle 23.

Tabelle 23. Zusätzliches Biogaspotenzial im SUST-Szenario gegenüber dem MAX-Szenario 2020 (Brutto-Biogasertrag aus der Vergärung).¹

MAX-Szenario	
Biogas aus Nutztierhaltung	7,9 PJ/a
Klär- und Deponiegas	5,4 PJ/a
Biogas insgesamt	13,3 PJ/a
Zusätzliche Mengen im SUST-Szenario	
Biogas aus biogenen Rückständen	1,7 PJ/a
Biogas aus industriell-gewerblichen Bioabfällen	0,6 PJ/a
Biogas aus Zuckerrübenblättern	0,9 PJ/a
Biogas aus Stroh von Körnermais	1,7 PJ/a
Summe Biogas im SUST-Szenario	18,2 PJ/a

Quellen: Eigene Berechnungen sowie Neubarth et al. (2000).

¹ Der Eigenbedarf der Biogasanlagen wurde bei der Berechnung der Strom- und Wärmeerzeugung berücksichtigt (s.u.), daher wird hier das Brutto-Biogaspotenzial angeführt.

Zusammengefasst ergibt sich die in Tabelle 24 dargestellte Aufbringung an Biomasse in Österreich 2020. Gegenüber dem TREND-Szenario kann die Aufbringung an Biomasse um 26,1 PJ/a (15%) gesteigert werden, wobei dieser Zuwachs ausschließlich aus einer Erhöhung der kaskadischen Nutzung von Biomasse kommt und die Primärnutzung von Biomasse praktisch gleich bleibt. Kaskadisch genutzte Biomasse würde in diesem Szenario 59% der gesamten energetischen Biomassenutzung ausmachen (TREND-Szenario: 51%, MAX-Szenario 45%).

ROLAND
Themenheft "Biomasseeinsatz und Landnutzung"

Tabelle 24. Aufbringung an Biomasse zur Energiegewinnung in Österreich 2020 im SUST-Szenario (PJ Heizwert H_u)

	IST 2000	TREND 2020	SUST 2020
1. Biomasse kaskadisch			
1.1 Forst-Biomasse	54,6	73,8	79,0
SNP	13,8	15,4	15,4
Rinde	9,3	14,1	14,1
Zusätzlich wiederverw. Holz ggü. TREND	0,0	0,0	5,2
Ablauge Papierindustrie	22,4	35,2	35,2
1.2 Sonstige Biomasse	4,1	14,2	35,4
Trockene Rückstände Ackerland inkl. Stroh	0,2	0,5	11,6
Biogener Anteil MVA	2,0	4,1	4,1
AME	0,0	0,8	1,5
Biogas, Klärgas, Deponiegas	1,9	6,2	18,2
Tiermehlverbrennung	0,0	2,7	2,7
Summe kaskadisch	58,8	88,0	114,4
2. Biomasse primär			
2.1 Forst-Biomasse	67,2	80,0	80,3
2.2 Acker-Biomasse primär	0,6	1,2	0,6
RME	0,6	1,2	0,6
Sonstige Energieplantagen am Acker	0,0	0,0	0,0
Summe primär	67,8	81,2	80,9
Gesamtsumme	126,6	169,2	195,3

Quelle: Eigene Berechnungen, siehe Text.

Ähnlich wie bereits im MAX-Szenario haben wir zum Zweck der Interpretation dieses Ergebnisses eine illustrative Aufteilung dieser Energiemenge auf die verschiedenen Verbrauchssektoren erstellt: Wir nahmen an, dass 10 PJ/a im Bereich Raumwärme / Haushalte eingesetzt werden. Im Bereich der Strom- und Wärmeerzeugung gehen wir davon aus, dass in diesem Szenario kein zusätzlicher Einsatz von Biomasse in Kondensationskraftwerken ohne Abwärmenutzung stattfindet, sondern dass die gesamte restliche Biomasse in KWK-Anlagen von Fernwärme-Versorgungsunternehmen oder der Industrie eingesetzt wird.

Tabelle 25. Verteilung der im SUST-Szenario aufgebrauchten Biomasse auf verschiedene Bereiche der Energienachfrage (PJ/a, H_u).

	2000 [PJ/a]	2020 [PJ/a]	2020 [%]
Endnachfrage	105,6	130,6	12%
Haushalte	72,9	71,4	30%
Kleinverbraucher ohne Haushalte	7,9	10,9	5%
Industrie	24,3	46,2	15%
Verkehr funktionell (Treibstoffe)	0,6	2,1	1%
Umwandlungseinsatz	21,0	64,7	22%
Kraftwerke EVU	0,2	4,0	2%
Fernwärme-Versorgungsunternehmen	5,8	24,9	53%
Kraft-Wärme-Kopplung Industrie	14,9	35,8	45%
Summe	126,6	195,3	14%¹

¹ Prozent des Gesamtenergieeinsatzes von 1.443 PJ/a im WIFO-Baselineszenario.

ROLAND
Themenheft "Biomasseeinsatz und Landnutzung"

Der Einsatz der in Tabelle 25 dargestellten Biomassemenge in der Strom- und Wärmeerzeugung hätte die in der folgenden Tabelle 26 wiedergegebenen Effekte in Bezug auf Strom- und Wärmebereitstellung. Zu beachten ist wiederum, dass der „biogene“ Strom nicht mit „Ökostrom“ laut EIWOG gleichzusetzen ist.

Tabelle 26. Strom- und Wärmeerzeugung aus Biomasse im SUST-Szenario 2020

	Input [PJ/a]	Strom [GWh/a]	Wärme [PJ/a]
Tiermehlverbrennung	2,7	309	0,0
Biogas Landwirtschaft	7,9	510	0,6
Deponie- und Klärgas	5,4	261	0,8
Biogener Anteil Müllverbrennung	4,1	90	2,8
Biomasse in Kondensationskraftwerken	1,4	159	0,0
Biomasse in industrieller KWK	22,4	1514	13,6
Biomasse in FWVU-KWK	20,9	1409	12,7
Summe	64,7	4252	30,6

Tabelle 26 zeigt, dass auch im SUST-Szenario beträchtliche Mengen Strom und Wärme gewonnen werden könnten. Die Stromerzeugung wäre etwas kleiner, die Wärmeerzeugung wäre fast gleich groß wie im MAX-Szenario.

4.4.3 Das SUST-Biomasseflussmodell für 2020

Die Ergebnisse der Modellrechnungen finden sich in zusammengefasster Form als Abbildungen A13, A14 und A15 im Anhang.

Abbildung A13 zeigt die Ergebnisse für die landwirtschaftliche Biomasse. Hier zeigt sich, dass die Inlandsproduktion an landwirtschaftlicher Biomasse in der Größenordnung des MAX-Szenarios liegt; auch der Verbleib von Stroh am Acker ist in der gleichen Größenordnung wie im MAX-Szenario. Die Nettoimporte sind etwas größer als im MAX-Szenario, aber kleiner als im TREND-Szenario. Die Bereitstellung landwirtschaftlicher Biomasse für die energetische Nutzung ist etwa gleich groß wie im MAX-Szenario, nur dass es sich hierbei nicht um eigens hierfür angebaute Primärprodukte, sondern um Kuppelprodukte des Pflanzenbaus handelt. Ein Teil davon (Stroh) fließt direkt in die energetische Nutzung, ein anderer Teil – die energetisch in Biogasanlagen genutzten Mengen an Maisstroh und Zuckerrübenblättern – über den Sektor "Schwund, Abfall, Wirtschaftsdünger", dem generell (in allen Szenarien) die Biogasgewinnung zugerechnet wurde. Abbildung A13 zeigt auch die große Bedeutung dieser Nutzungsschiene für Biomasse im SUST-Szenario. Zu beachten ist, dass der Nutztier-Sektor in diesem Szenario etwas größer ist als im MAX-Szenario, weil in letzterem Szenario die Rinderhaltung auf Grund der geringeren Verfügbarkeit von Grünland etwas reduziert wurde. Dies bewirkt eine Zunahme des Rindfleischexports.

Abbildung A14 zeigt, dass die Holzernte in diesem Szenario deutlich niedriger ist als im MAX-Szenario. Die Nutzung an Holz aus dem Sektor "Schwund, Abfall etc." wurde etwas erhöht.

Abbildung A15 zeigt die zusammengefassten Biomasseflüsse in diesem Szenario, wobei die inländische Gewinnung an Biomasse in Summe auf Grund der geringeren inländischen Holzernte deutlich kleiner ist als in MAX.

4.4.4 Die Landnutzung im SUST-Szenario

Bei der Erstellung des SUST-Szenarios haben wir die Verteilung zwischen Ackerfläche, Grünland und Wald aus dem TREND-Szenario übernommen. Unterschiedlich ist dieses Szenario allerdings im Hinblick auf die Verteilung der Ackerfläche auf Feldfruchtaggregate, die in der folgenden Tabelle 27 dargestellt ist. Insbesondere verändert sich durch die Annahmen im Bereich RME sowie energetische Strohnutzung der Anteil der Brache am Ackerland.

Tabelle 27. Verteilung der Ackerfläche auf die 12 Feldfruchtaggregate im SUST-Szenario 2020

	Anbaufläche [km ²]	Anteil [km ²]
Brotgetreide	3.398	26%
Futtergetreide	2.784	22%
Körnermais	1.644	13%
Silomais	870	7%
Körnerfrüchte	613	5%
Kartoffel	364	3%
Zuckerrübe	431	3%
Raps	666	5%
Sonnenblume	309	2%
Klee, Egarten	857	7%
Ackerbrache	308	2%
Sonstige Feldfrüchte	609	5%
Ackerland gesamt	12.853	100%

4.5 Das GLOB-Szenario

In diesem Szenario wird die weitgehende Öffnung des österreichischen bzw. europäischen Agrarmarktes für den Wettbewerb unterstellt, d.h. eine weit reichende Verringerung bzw. Abschaffung von landwirtschaftlichen Förderungen angenommen.

Das Szenario beruht allerdings nicht auf einer umfassenden agrarökonomischen Analyse – eine solche war aus Ressourcengründen nicht möglich – sondern auf Einschätzungen, die in Gesprächen mit Agrarexperten gewonnen wurden. Angesichts der Unsicherheiten über die Weltmarktpreise für land- und forstwirtschaftliche Produkte für die nächsten 20 Jahre wäre eine umfassende betriebs- und volkswirtschaftliche Analyse auch sehr schwierig.

Daher ist darauf hinzuweisen, dass dieses Szenario lediglich zu erwartende Tendenzen in ein Mengengerüst bringt, um mögliche Auswirkungen einer Liberalisierung des Agrarsektors und eines Abbaus von Agrarförderungen abzubilden. Für genauere und besser fundierte Aussagen wäre ein wesentlich höherer Aufwand nötig, als er im Rahmen dieses Projekts geleistet werden konnte.

4.5.1 Annahmen zur stofflichen Nutzung von nachwachsenden Rohstoffen

Hinsichtlich der stofflichen Nutzung nachwachsender Rohstoffe übernehmen wir im GLOB-Szenario die Annahmen des TREND-Szenarios. Die dahinter liegende Hypothese ist, dass eine umfassende Politik der Deregulierung sich wahrscheinlich nicht auf den Agrarsektor beschränken würde, sondern auch andere Wirtschaftsbereiche erfassen würde. Daher erscheint es uns wenig wahrscheinlich, dass eine Politik zur Deregulierung und zum Subventionsabbau im Agrarsektor gleichzeitig mit einer Politik der Erhöhung von Förderungen für nachwachsende Rohstoffe Platz greifen wird.

4.5.2 Annahmen zur energetischen Biomassenutzung

Auch in Bezug auf die energetische Nutzung von Biomasse übernehmen wir im GLOB-Szenario die Annahmen des TREND-Szenarios. Auch hier halten wir es für wenig wahrscheinlich, dass eine Politik des Abbaus von Förderungen im Landwirtschaftssektor mit einer Politik der Ausweitung von Förderungen für Biomassenutzung einher gehen wird. Allerdings ist anzumerken, dass sich durch die in diesem Szenario frei werdenden Flächen deutlich höhere Potenziale zur Gewinnung von Energie aus Biomasse in Österreich errechnen ließen als im TREND-Szenario.

4.5.3 Annahmen zu den Veränderungen der Acker- und Grünlandflächen

Ein Abbau von Agrarmarktregelungen und landwirtschaftlichen Förderungen hätte nach übereinstimmender Meinung aller Experten sowie nach der Literatur (Latesteijn 1998; Netherlands Scientific Council for Government Policy 1992; Penz 1997; Prieler et al. 1998) die folgenden Konsequenzen:

1. Rückgang der bewirtschafteten Ackerfläche, vor allem in den Ungunstlagen, und weitere Konzentration des Ackerbaus auf die Gunstlagen.
2. Rückgang der Anzahl der Betriebe; überleben dürften vor allem große Betriebe.
3. Bei einer Abschaffung der Marktordnung für Zucker dürfte der Anbau von Zuckerrüben praktisch eingestellt werden.
4. Konzentration auf Ackerbauprodukte, bei denen Österreich konkurrenzfähig ist (vor allem Getreide); Rückgang des Anbaus von Alternativkulturen (praktisch auf Null) und anderen wirtschaftlich prekären Kulturen.
5. Rückgang der bewirtschafteten Grünlandfläche, vor allem in den Ungunstlagen.

Diese generellen Einschätzungen haben wir folgendermaßen operationalisiert: Auf Grund von Experteneinschätzungen²⁹ haben wir Prozentsätze für den Rückgang der Acker- und Grünlandfläche in den 5 Erschwerniszonen festgelegt. Damit kann die Entwicklung von Ackerbau und Grünlandwirtschaft auf Gemeindeebene prognostiziert werden, weil Daten über die Anzahl der Betriebe nach Erschwerniszonen³⁰ und den von Ihnen genutzten Flächen auf Gemeindeebene vorliegen (ÖSTAT, ISIS Datenbank). Die Prozentsätze, mit denen wir den Rückgang von Ackerland und Grünland (ausgehend von der Flächennutzung 1995) berechnet haben, sind in Tabelle 28 dargestellt. In wenigen Ausnahmefällen, in denen der so errechnete Rückgang von Ackerland bzw. Grünland geringer war, als der im TREND-Szenario angenommene Rückgang, wurde der Wert aus dem TREND-Szenario übernommen.

Weiters wurde angenommen, dass ein Drittel der Almen aus der Nutzung genommen und der natürlichen Sukzession überlassen werden.

Tabelle 28. Rückgang der Acker- und Grünlandfläche in Abhängigkeit von der Erschwerniszone.

	Rückgang der Acker- und Grünlandfläche [%]
Erschwerniszone 0	-15%
Erschwerniszone 1	-33%
Erschwerniszone 2	-50%
Erschwerniszone 3	-70%
Erschwerniszone 4	-80%

Quelle: Eigene Einschätzung auf Basis von Expertengesprächen.

Annahmen mussten auch darüber getroffen werden, welche Landnutzung auf den frei werdenden Acker- und Grünlandflächen im GLOB-Szenario stattfinden könnte. Hier haben wir – ebenfalls auf Basis von Experteneinschätzungen – die folgenden Annahmen getroffen:

Für Ackerland das im GLOB-Szenario nicht mehr ackerbaulich genutzt wird, nehmen wir an, dass ein Teil in Grünland umgewandelt wird, ein Teil wird aufgeforstet und ein Teil wird nicht weiter genutzt, sondern verbracht bzw. wird der natürlichen Sukzession überlassen. Für derzeit als Grünland genutzte Flächen, die im GLOB-Szenario aus der ursprünglichen Nutzung genommen werden, nehmen wir an, dass ein Teil aus landschaftspflegerischen Gründen (Tourismus) weiter als Grünland erhalten wird, ein Teil wird der natürlichen Sukzession überlassen und ein Teil wird aufgeforstet.

²⁹ Wir danken vor allem Dipl.-Ing. Joseph Breinesberger, Agrar Plus.

³⁰ Die Erschwerniszonen sind eine gängige Einteilung landwirtschaftlicher Betriebe nach der Bewirtschaftungserchwernis. S. Wyrzens 1994, ÖSTAT 1997.

Die Anteile der einzelnen Folgenutzungen für frei werdendes Ackerland und Grünland wurden für die 5 Erschwerniszonen individuell festgelegt. Die jeweils angenommenen Anteile sind in Tabelle 29 wiedergegeben.

Tabelle 29. Folgenutzung von Acker- und Grünlandflächen, die im GLOB-Szenario aus der ursprünglichen Nutzung (1995) genommen werden

	Ackerland			Grünland		
	Sukzession [%]	Grünland [%]	Aufforstung [%]	Sukzession [%]	Landschaftspflege [%]	Wald [%]
E0	50%	0%	50%	0%	0%	100%
E1	30%	30%	40%	10%	10%	80%
E2	10%	40%	50%	20%	25%	55%
E3	0%	50%	50%	20%	40%	40%
E4	0%	50%	50%	20%	50%	30%

Quelle: Eigene Abschätzungen.

4.5.4 Annahmen über die Erträge

Die im GLOB-Szenario zu erwartende Konzentration auf Gunstlagen sowie die anzunehmende Steigerung der Bewirtschaftungsintensität lassen eine deutlich stärkere Steigerung der Erträge als im TREND-Szenario wahrscheinlich erscheinen. Zur Ableitung eines unter diesen Bedingungen plausiblen Ertragsniveaus wurde folgendermaßen vorgegangen: Analog zur Ertragsprognose der anderen Szenarien wurde hier die Entwicklung der Ertragsleistung der einzelnen Kulturarten von 1970 bis 2000 ins Jahr 2020 fortgeschrieben. Angenommen wurde hier jedoch im Unterschied zu den Szenarien TREND, MAX und SUST, dass hier darüber hinaus massive züchterische und ökonomische Anstrengungen zur Steigerung der Flächenerträge unternommen werden. Daher wurde zur Ertragsfortschreibung eine lineare Funktion herangezogen. Diese Ertragsprognose lieferte jedoch nicht für alle Kulturartenaggregate plausible Ergebnisse, es ergaben sich rückläufige bzw. stagnierende Trends. Daher wurde für all jene Prognosen, welche den Wert des Szenarios TREND nicht überschritten, pauschal eine Steigerung von 35% zum gegenwärtigen Fünfjahresmittel angenommen. Die 35% ergaben sich als Mittelwert der durch die lineare Regression ermittelten Steigerung der Erträge von Brotgetreide, Futtergetreide und Körnermais.

Tabelle 30. Erträge am Ackerland im GLOB-Szenario im Vergleich zu 1993/97 und zum TREND-Szenario.

	Mittel 1993-1997 [kg/m ² FG]	TREND 2020 [kg/m ² FG]	GLOB 2020 [kg/m ² FG]
Brotgetreide	0,47	0,53	0,66
Futtergetreide	0,44	0,51	0,60
Körnermais	0,88	0,98	1,20
Silomais	4,45	4,68	6,31
Kartoffel	2,67	2,90	3,04
Zuckerrübe	5,57	6,98	7,24
Raps	0,25	0,30	0,34
Sonnenblume	0,23	0,24	0,32
Klee etc.	0,79	0,84	1,15
Wiesen	0,67	0,68	0,92

Quellen: Eigene Berechnung auf Basis von Daten der Statistik Austria.

4.5.5 Annahmen für den Bereich Nutztiere

Im Bereich der Milchwirtschaft erwarten Agrarexperten bei einer Abschaffung des Milchquotensystems zunächst ein deutliches Wachstum der Milchproduktion, weil anzunehmen ist, dass die meisten Milchbauern versuchen werden, ihre wirtschaftliche Situation durch Absatzausweitung zu verbessern. Mittelfristig würde dies allerdings zu einem Milchüberschuss und damit einem Preisverfall führen, dem wahrscheinlich nur die größeren Bauern Stand halten würden. Wir gingen daher insgesamt von einem Gleichbleiben der Milchviehhaltung aus.

In den Bereichen Schweine- und Rindfleischproduktion erwarten Agrarexperten einen deutlichen Rückgang der Produktion im GLOB-Szenario. Dieser wurde über pauschale Annahmen des Bestandesrückgangs von einzelnen Tiergruppen (z.B. Kühe, Ochsen, Stiere, Kälbinen), abgeleitet aus einer Analyse der Entwicklungen der letzten 20 Jahre³¹ hochgerechnet. Damit ergab sich eine Reduktion der Rindfleischproduktion um 20% und der Schweinefleischproduktion von 17%. Dies resultiert in Folge in eine Reduktion des Eiweißfutterbedarfs um 8%.

4.5.6 Das GLOB-Biomasseflussmodell für 2020

Die Ergebnisse der Modellrechnungen finden sich in zusammengefasster Form als Abbildungen A16, A17 und A18 im Anhang.

Abbildung A16 zeigt die Ergebnisse für die landwirtschaftliche Biomasse. Die Inlandsproduktion an landwirtschaftlicher Biomasse liegt mit 17,4 Mio. t TM unter dem TREND-Szenario (18,0 Mio. t TM). Die Nettoimporte sind mit 644.000 t TM etwas größer als im TREND-Szenario. Die Inlandsverwendung ist mit 14,5 Mio. t TM deutlich unter dem Wert des TREND-Szenarios (15,2 Mio. t TM), was vor allem auf den höheren Import von Fleisch zurückzuführen ist. Dies spiegelt sich auch im Input in die Nutztierhaltung wider, die mit 11,3 Mio. t TM etwas unter dem Wert des TREND-Szenarios liegt. Annahmegemäß ist der Input in die materielle und energetische Nutzung im GLOB-Szenario praktisch gleich groß wie im TREND-Szenario. Obwohl die Nettoimporte landwirtschaftlicher Biomasse in GLOB nur geringfügig höher sind als in TREND, wird aufgrund der massiv höheren Fleisch-Nettoimporte in GLOB der „Flächenimport“ nach Österreich wesentlich gesteigert (siehe dazu Kapitel 5.1 Nettoimporte).

Abbildung A17 zeigt, dass die Holzflüsse in diesem Szenario annahmegemäß gleich sind wie im TREND-Szenario.

Abbildung A18 analysiert die gesamten Biomasseflüsse im GLOB-Szenario, die auf Grund der oben diskutierten Unterschiede im Landwirtschaftsbereich meist unter jenen des TREND-Szenarios liegen.

4.5.7 Veränderungen der Landnutzung 1995/2020 im GLOB-Szenario

Im Hinblick auf die Landnutzung gibt es im GLOB-Szenario deutliche Unterschiede zu den anderen Szenarien. Es kommt nicht nur zu einem Rückgang der Acker- und Grünlandflächen, sondern auch zum Auftreten neuer Landnutzungskategorien wie „nicht genutztes Grünland: Sukzession“, „Sukzession am Ackerland“ und „nicht genutztes Grünland – Landschaftspflege“. Im Vergleich zum TREND-Szenario werden rund 14 % bzw. 1.950 km² Ackerland und 2.600 km² Grünland dauerhaft aus der ursprünglichen Nutzung genommen. Allerdings werden etwa 270km² ehemalige Ackerfläche im GLOB-Szenario als Grünland weiterhin landwirtschaftlich genutzt. Die restlichen 4.280 km² nicht mehr weiter landwirtschaftlich genutzten Acker- und Grünlandflächen werden zu 55% aufgeforstet, zu 27% der natürlichen Sukzession überlassen und zu 18% durch landschaftspflegerische Maßnahmen als Grünland erhalten. Darüber hinaus wird ein Drittel der Almflächen nicht mehr bewirtschaftet und der natürlichen Sukzession überlassen. Die Ergebnisse für die Hauptproduktionsgebiete sind in Tabelle 31 dargestellt.

³¹ Datenquelle: Bundesanstalt f. Agrarwirtschaft. "Statistische Daten". Download auf <http://www.awi.bmlf.gv.at/>

ROLAND
Themenheft "Biomasseinsatz und Landnutzung"

Tabelle 31. Flächennutzungskategorien in den 8 Hauptproduktionsgebieten im GLOB-Szenario 2020.

	Siedlung, Verkehr [km ²]	Acker- und Gartenland [km ²]	Sukzession Ackerland [km ²]	Grünland [km ²]	Sukzession Grünland [km ²]	Land-schafts-pflege [km ²]	Wald [km ²]	Son-stiges [km ²]	Almen [km ²]
Hochalpen	793	21	-	1.622	198	381	13.414	5.963	7.402
Voralpen	396	120	9	961	93	159	6.805	314	384
Alpenostrand	551	492	2	1.068	85	152	7.786	193	604
Wald- und Mühlviertel	418	1.422	139	1.192	38	55	4.213	79	1
Kärntner Becken	221	336	28	290	-	-	1.429	67	123
Alpenvorland	993	2.735	225	1.596	7	10	2.794	171	79
Südöstliches Flach- und Hügelland	515	1.433	127	380	-	-	2.503	42	22
Nordöstliches Flach- und Hügelland	1.304	5.106	207	186	-	-	3.069	334	2
Österreich	5.191	11.664	736	7.295	420	757	42.014	7.164	8.616

Quelle: Eigene Berechnungen.

Die Nutzung der im GLOB-Szenario im Vergleich zum TREND-Szenario frei werdenden Acker- und Grünlandflächen ist in Tabelle 32 dargestellt.

Tabelle 32. Nutzung der im GLOB-Szenario im Vergleich zum TREND-Szenario frei werdenden Acker- und Grünlandflächen im Jahr 2020

	Ackerland			Grünland			Almen	
	Sukzes-sion [km ²]	Grünland [km ²]	Auffor-stung [km ²]	Sukzes-sion [km ²]	Land-schafts-Pflege [km ²]	Auffor-stung [km ²]	Ge-nutzte Almen [km ²]	Nicht genutzte Almen [km ²]
Hochalpen	-	-	-	198	381	589	4959	2443
Voralpen	9	16	23	93	159	300	257	127
Alpenostrand	2	6	7	85	152	269	405	199
Wald- und Mühlviertel	139	184	272	38	55	171	0	0
Kärntner Becken	28	24	51	-	-	-	82	40
Alpenvorland	225	33	249	7	10	96	53	26
Südöstliches Flach- und Hügelland	127	7	133	-	-	-	15	7
Nordöstliches Flach- und Hügelland	207	<1	207	-	-	-	1	1
Österreich	736	270	943	420	757	1426	5773	2843

Quelle: Eigene Berechnungen.

Auch am Ackerland ergeben sich durch die getroffenen Annahmen im GLOB-Szenario gegenüber dem TREND-Szenario erhebliche Veränderungen, die in Tabelle 33 dargestellt sind.

Tabelle 33. Verteilung der Ackerfläche auf Kulturarten und Brache im GLOB-Szenario 2020

	Anbaufläche [km ²]	Anteil [%]
Brotgetreide	3.671	34%
Futtergetreide	3.008	28%
Körnermais	1.032	9%
Silomais	500	5%
Körnerfrüchte	306	3%
Kartoffel	252	2%
Zuckerrübe	-	0%
Raps	333	3%
Sonnenblume	99	1%
Klee, Egarten	283	3%
Ackerbrache	818	8%
Sonstige Feldfrüchte	602	6%
Ackerland gesamt	10.903	100%

Quelle: Eigene Berechnungen.

4.6 Vergleich der Szenarien

4.6.1 Energetische Nutzung von Biomasse

Die energetische Nutzung von Biomasse (Primärenergie) im Vergleich der vier Szenarien ist in Abbildung 9 dargestellt. Bereits das TREND-Szenario (und mit ihm das GLOB-Szenario) unterstellt eine beträchtliche Ausweitung des Einsatzes von Biomasse zur Energiegewinnung. Diese Steigerung der Energiegewinnung aus Biomasse wurde, wie erwähnt, im Wesentlichen aus dem WIFO-Baseline-Szenario (Kratena und Schleicher 2001) übernommen. Ein Grund für diese doch erheblich Steigerung des Einsatzes von Biomasse besteht darin, dass das WIFO in seinem Baseline-Szenario bereits eine Förderung der Biomasse auf Grund des EIWOG sowie auf Grund von Maßnahmen in Umsetzung des EU-Weißbuchs über erneuerbare Energie (Kommission der Europäischen Gemeinschaften 1997) unterstellt hat.

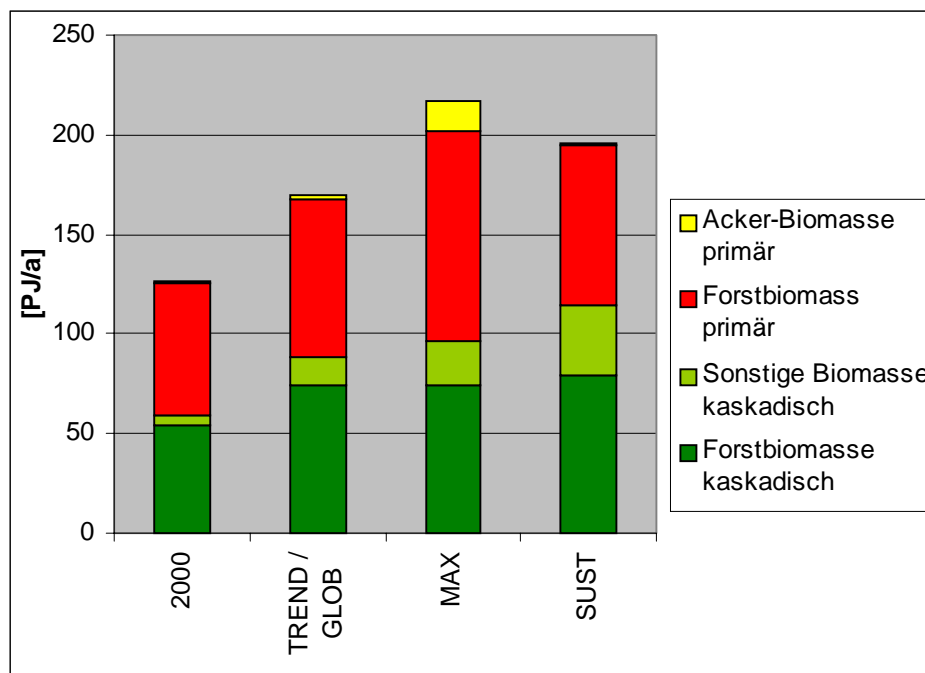


Abbildung 9. Energetische Nutzung von Biomasse in Österreich 2020 in den vier Szenarien.
Quelle: Eigene Berechnungen.

Im MAX-Szenario spielt die Gewinnung von primärer Biomasse am Ackerland eine beträchtliche Rolle; bei den anderen Szenarien ist dieser Pfad relativ unbedeutend. Am Ackerland erzeugt werden 5,5 PJ/a RME für Biodiesel, wodurch das Potenzial im Jahr 2020 unter Berücksichtigung regional disaggregierter Daten über Fruchtfolgebeschränkungen -ausgeschöpft wird, sowie ca. 10 PJ Biomasse in Kurzumtriebswäldern. Wie erwähnt, bleibt der Beitrag der Biotreibstoffe am gesamten Treibstoffverbrauch mit 1,7% verschwindend gering, obwohl für seine Produktion mehr als 10% der Ackerfläche aufgewendet werden müssen.

Deutlich ausgeweitet wird in diesem Szenario auch der Einschlag von Holz im Wald für Energieproduktion, wobei im Jahr 2020 die Nutzung des Holzzuwachses in österreichischen Wald 85% erreicht. Dieses Niveau dürfte wegen der erheblichen organisatorischen Hemmnisse zur Erhöhung des Ausschlaggrades im Kleinwald selbst durch eine ambitionierte Politik kaum mehr steigerbar sein.

Im SUST-Szenario wird vor allem die kaskadische Biomassennutzung deutlich ausgeweitet, wobei vor allem die verstärkte Nutzung von Altholz, die Nutzung strohreicherer Getreidesorten sowie eine forcierte Nutzung des Biogaspotenzials aus biogenen Abfällen und aus Nebenprodukten der Landwirtschaft unterstellt wurde.

Tabelle 34 analysiert den Beitrag der Biomassennutzung zur Energieversorgung Österreichs im Jahr 2020 unter der Annahme des Energieverbrauchs im WIFO-Baseline-Szenario. Sie zeigt, dass der Biomasseanteil im TREND-Szenario 12% beträgt, im MAX-Szenario 15% und im SUST-Szenario 14%. Die Stromproduktion aus Biomasse – wobei nicht alle hier inkludierten Biomassefraktionen als „Ökostrom“ gemäß EIWOG bezeichnet werden sollten – liegt zwischen 3220 und knapp 5000 GWh, die Wärmeproduktion zwischen 24 und 32 PJ/a. Der Endenergieeinsatz an Biomasse liegt je nach Szenario zwischen 121 und 146 PJ/a.

Tabelle 34. Kennziffern der Energetischen Nutzung von Biomasse in Österreich 2000 und 2020 in den vier Szenarien im Vergleich.

	2000	TREND / GLOB	MAX	SUST
Biomasse-Energie Summe [PJ/a]	126,6	169,2	217,1	195,3
Anteil am österr. Primärenergieeinsatz	11%	12%	15%	14%
Biomasse-Energie primär	54%	49%	55%	41%
Biomasse-Energie kaskadisch	46%	51%	45%	59%
Stromerzeugung aus Biomasse [GWh/a] ¹	ca. 1600 ²	3220	4966	4252
Wärmeerzeugung aus Biomasse [PJ/a]	n.d.	24	32	31
Biomasse-Endenergieeinsatz [PJ/a]	106	121	146	131

¹ Diese Zahl inkludiert die Stromerzeugung aus Biomassekategorien, die nicht als Ökostrom gemäß EIWOG betrachtet werden sollten (z.B. biogener Anteil der Müllverbrennung, Tiermehlverbrennung, Abaugeverbrennung).

² Grobschätzung auf Basis von Daten der TU-Studie (Haas et al. 2001).

Ökologisch relevant ist die Verteilung des Biomasse-Aufkommens zwischen primärer und kaskadischer Biomasse. Im TREND-Szenario beträgt der kaskadische Anteil 51% und liegt damit etwas günstiger als im Jahr 2000. Im MAX-Szenario hingegen sinkt der kaskadische Anteil mit 45% knapp unter den Wert des Jahres 2000 ab, während er im SUST-Szenario mit 59% den höchsten Wert erreicht.

4.6.2 Stoffliche Nutzung von landwirtschaftlicher Biomasse

Die stoffliche Nutzung von nachwachsenden Rohstoffe wird in Abbildung 10 vergleichend dargestellt. Insgesamt spielt die stoffliche Nutzung von landwirtschaftlicher Biomasse quantitativ bis 2020 gemäß den vom IWI erwarteten denkbaren Steigerungsraten keine so große Rolle, dass sie flächenmäßig ins Gewicht fallen würde. Die zusätzliche stoffliche Nutzung von Holz wurde in allen Szenarien gleich gehalten. Im Gegensatz zur energetischen Nutzung stammt die landwirtschaftliche Biomasse für die zusätzliche stoffliche Nutzung ausschließlich aus Primärproduktion, mengenmäßig relevante Kaskadennutzungen sind hier mittelfristig unwahrscheinlich.

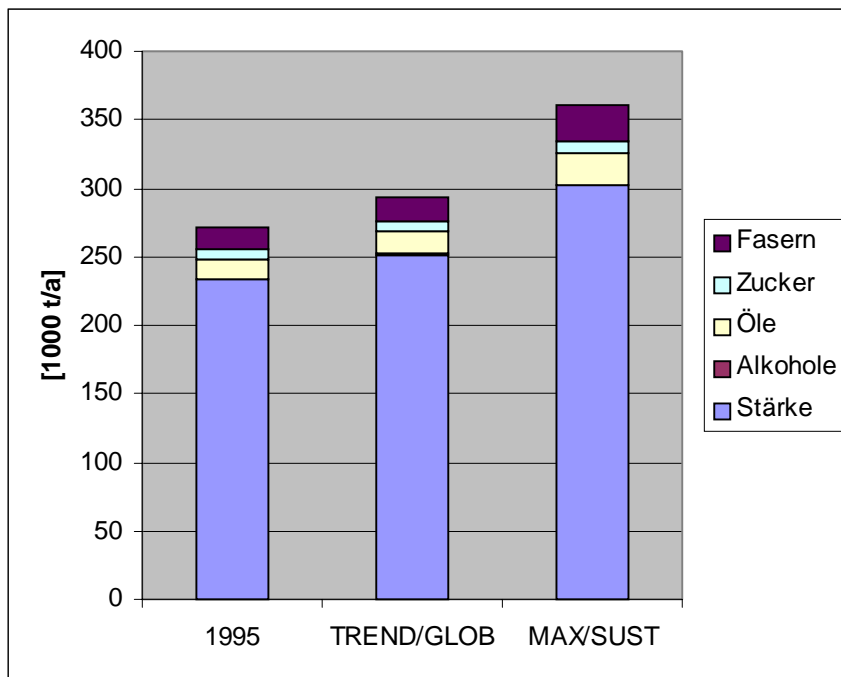


Abbildung 10. Stoffliche Nutzung von landwirtschaftlicher Biomasse 1995 und 2000 in den vier Szenarien.

Quelle: Eigene Berechnungen.

4.6.3 Landnutzung

Die Ergebnisse zur Landnutzung sind im Überblick in Abbildung 11 dargestellt. Der Waldanteil wächst in allen vier Szenarien gegenüber 1995 an, am stärksten aber im GLOB-Szenario. Das Ackerland nimmt im MAX-Szenario am wenigsten ab, am stärksten im GLOB-Szenario. Der Grünlandanteil ist im GLOB-Szenario am kleinsten, im TREND- und SUST-Szenario am größten.

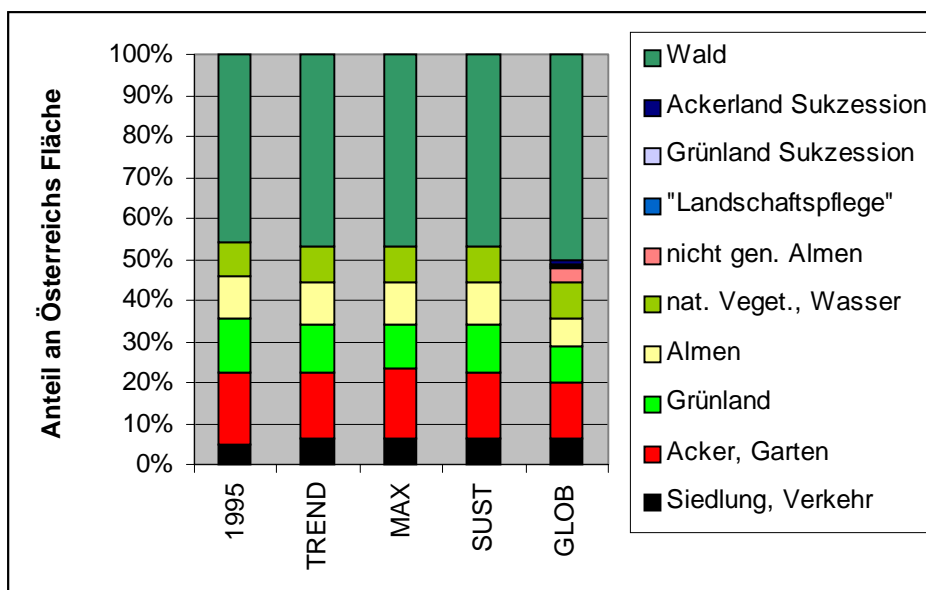


Abbildung 11. Anteile der wichtigsten Landnutzungskategorien an Österreichs Fläche 1995 und in den vier Szenarien.

Quelle: Eigene Berechnungen.

R O L A N D
Themenheft "Biomasseinsatz und Landnutzung"

In absoluten Zahlen sind die Ergebnisse in Tabelle 35 dargestellt. Die Fläche der nicht genutzten Almen im GLOB-Szenario ist beträchtlich, doch auch die der Sukzession überlassene Grün- und Ackerflächen sind beträchtlich. Der Waldanteil erreicht im GLOB-Szenario über 50% der österreichischen Fläche.

Tabelle 35. Fläche der wichtigsten Landnutzungskategorien in Österreich 1995 und 2020 in den vier Szenarien in Quadratkilometern [km²].

	1995	TREND	MAX	SUST	GLOB
Siedlung, Verkehr	3967	5191	5191	5191	5191
Acker, Garten	14670	13614	14436	13614	11664
Grünland	11131	9898	9077	9898	7295
Almen	8525	8616	8616	8616	5773
Wald	38400	39375	39375	39375	42014
Natürl. Veget., Wasser	7164	7164	7164	7164	7164
Nicht gen. Almen	0	0	0	0	2843
„Landschaftspflege“	0	0	0	0	757
Grünland-Sukzession	0	0	0	0	420
Ackerland-Sukzession	0	0	0	0	736

Quelle: Eigene Berechnungen.

Das Acker- und Gartenland geht im GLOB-Szenario auf 11.700 km² zurück, das entspricht einem Rückgang gegenüber 1995 um 20%. Das Grünland geht im GLOB-Szenario sogar um 35% zurück. Während die Waldfläche in den drei Szenarien TREND, MAX und SUST nur um 2,5% wächst, beträgt ihre Zunahme im GLOB-Szenario mit 9% mehr als das Dreifache.

Diese Ergebnisse sind im Überblick in Abbildung 12 noch einmal dargestellt.

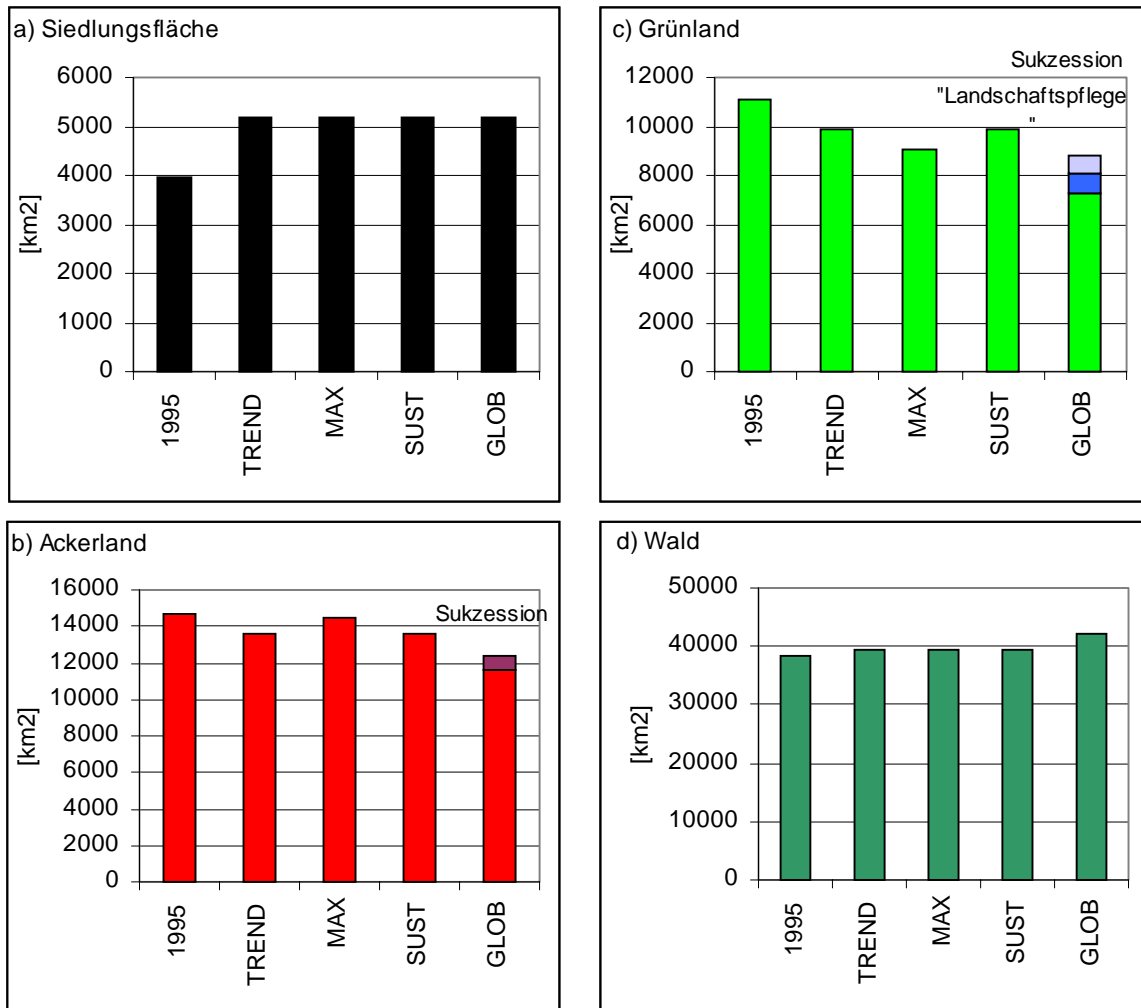


Abbildung 12. Veränderungen der Landnutzung 1995/2020 in den Szenarien im Überblick.
Quelle: Eigene Berechnungen.

In den folgenden Abbildungen sind die Ergebnisse in regionalisierter Form auf Ebene der landwirtschaftlichen Kleinproduktionsgebiete dargestellt. Die Abbildungen zeigen, dass die räumlichen Konzentrationstendenzen in der Landwirtschaft im GLOB-Szenario am stärksten wären.

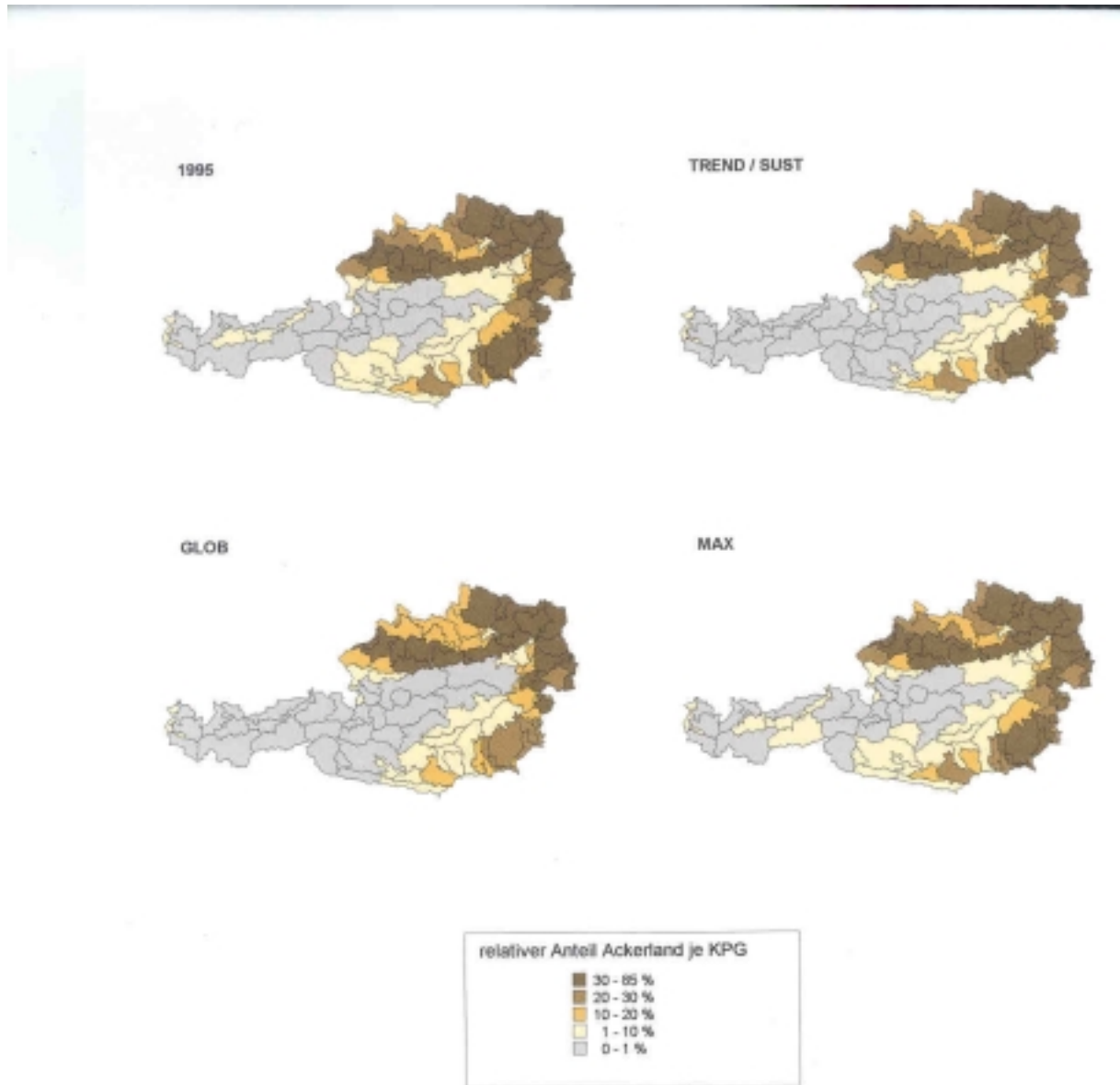


Abbildung 13. Anteil des Ackerlands an der Fläche der Kleinproduktionsgebiete in Österreich 1995 und 2020 in den vier Szenarien.

Quelle: Eigene Berechnungen.



Abbildung 14. Anteil des Grünlandes an der Fläche der Kleinproduktionsgebiete Österreichs 1995 und 2020 in den vier Szenarien.

Quelle: Eigene Berechnungen.

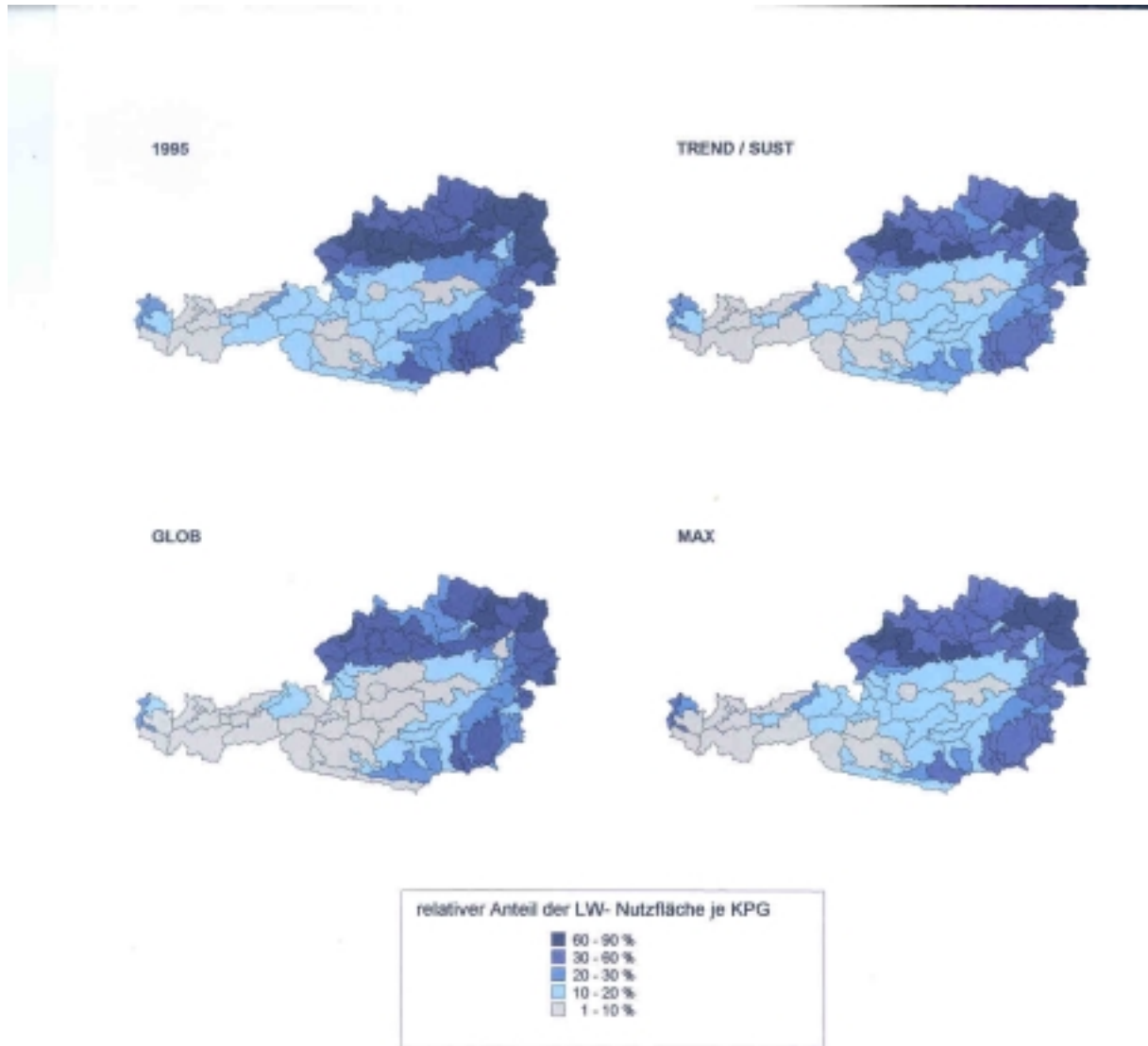


Abbildung 15. Anteil der landwirtschaftlichen Nutzfläche (=Ackerland plus Grünland) an der Fläche der Kleinproduktionsgebiete Österreichs 1995 und 2020
Quelle: Eigene Berechnungen.

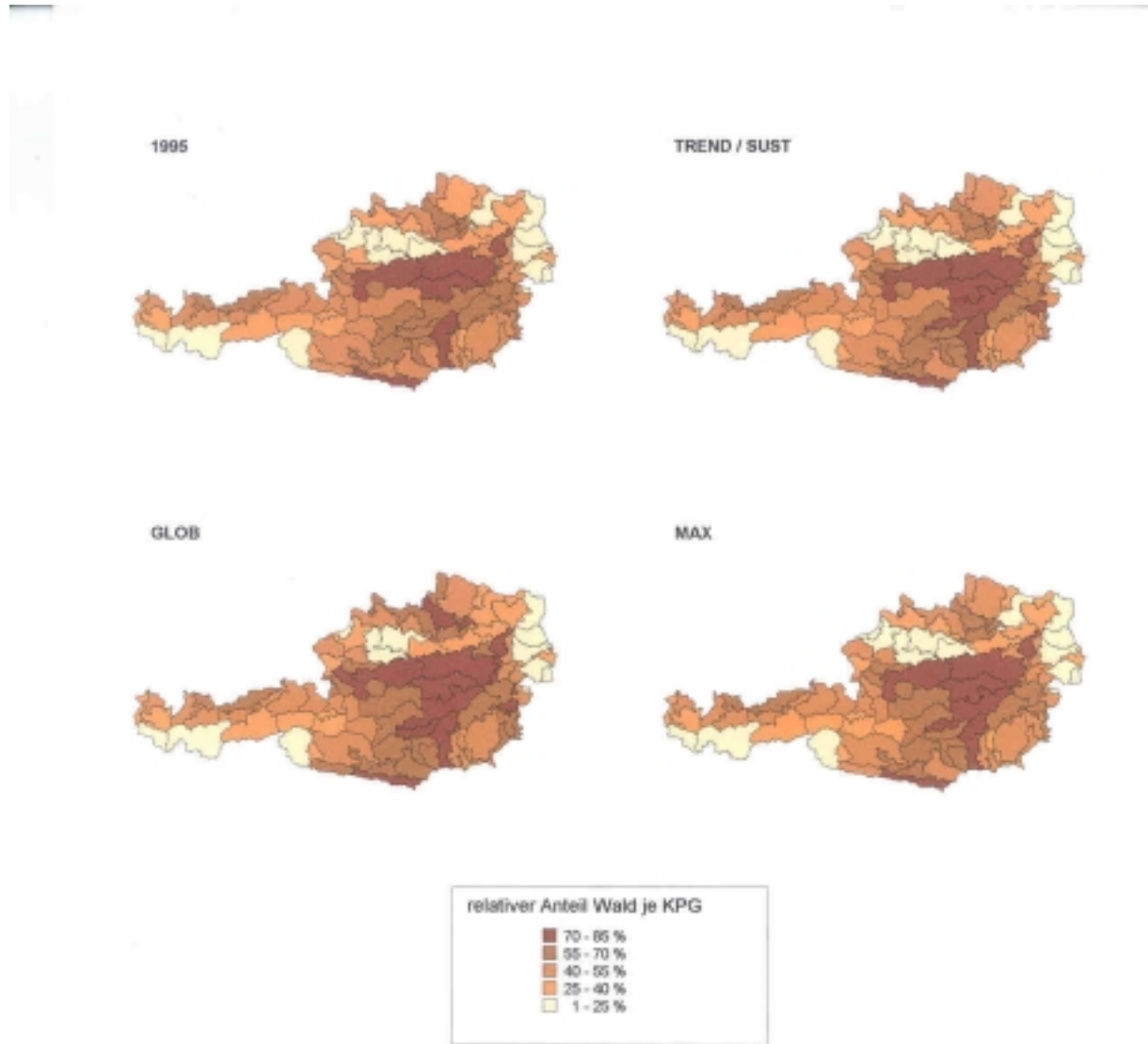


Abbildung 16. Anteil der Waldfläche an der Fläche der Kleinproduktionsgebiete 1995 und 2020 in den vier Szenarien.

Quelle: Eigene Berechnungen.

5. Indikatoren

Die Auswirkungen der Szenarien wurden nicht nur im Hinblick auf die Landnutzung analysiert, sondern auch an Hand der im Folgenden diskutierten quantitativen Indikatoren. Diese dienen im weiteren Projektverlauf auch der Bewertung der Szenarien im Projektteam unter der Leitung des Ökologie-Institutes.

Die meisten dieser Indikatoren beziehen sich auf Prozesse, die innerhalb Österreichs stattfinden. So bezieht sich etwa der Indikator HANPP auf die Fläche Österreichs, ebenso die Kohlenstoffspeicherung der österreichischen Vegetation oder die ebenfalls berechnete Aufbringung von Stickstoffdüngern. Bei einem Vergleich der Szenarien ist allerdings zu berücksichtigen, dass die Nettoimporte an landwirtschaftlichen Produkten (Importe – Exporte) in den Szenarien deutlich variieren. Wir leiten daher dieses Kapitel mit einem Vergleich der Nettoimporte der betrachteten Biomassekategorien ein.

5.1 Nettoimporte

Die Umweltauswirkungen der verschiedenen Szenarien sind schwer vergleichbar, weil sich die Handelsvolumina mit dem Ausland – gemessen als Nettoimport/-export von Biomasse – deutlich verändern. Scheinbare „Verbesserungen“ in der Umwelt-Performance stellen in manchen Fällen nur eine Verlagerung der entsprechenden umweltbelastenden Aktivitäten ins Ausland dar. Dies können wir aus Ressourcengründen hier nicht durch exakte Rechnungen abbilden. Die folgenden Überlegungen sollen aber bei der Interpretation helfen.

Tabelle 36. Außenhandel Österreichs im Jahr 1995 und in den Szenarien. Nettoimporte (+, schwarz) und Nettoexporte (-, rot) sind je Biomassekategorie aufsummiert.

	1995 [1000t TM]	TREND [1000t TM]	MAX [1000t TM]	SUST [1000t TM]	GLOB [1000t TM]
Getreide	-80	-21	-30	-34	-610
Öle	87	97	98	87	152
Zucker	-50	-58	-58	-58	420
Gartenland	80	128	128	128	128
Eiweißfuttermittel (Extraktionsschrote)	366	481	324	477	480
Raufutterverzehrer (Rinder, Schafe, Ziegen) ¹	-29	-30	-24	-30	-8
Schweine etc. ¹	11	8	8	8	63
Eier	6	6	6	6	6
Holz	-587	-323	-323	-323	-323

Quelle: Aggregation aus dem Biomasse-Modell

¹ Fleisch oder lebende Tiere.

Es zeigt sich, dass die ausgeglichene Handelsbilanz Österreichs beim Getreide (die Netto-Exporte zwischen 21.000 und 80.000 t TM Getreide pro Jahr sind – im Vergleich zum Inlandsaufkommen – fast vernachlässigbar) im GLOB-Szenario nicht aufrechterhalten wird: Hier entsteht auf Grund der in diesem Bereich relativ guten Konkurrenzfähigkeit Österreichs ein Netto-Export von 610.000 t TM im Jahr 2020. Die Nettoimporte an Ölen, die in allen Szenarien außer dem GLOB-Szenario etwa gleich sind, verdoppeln sich fast. Die Nettoimporte an Eiweißfuttermitteln liegen im GLOB-Szenario am oberen Ende des Bereichs in den Szenarien (am geringsten sind sie im MAX-Szenario, weil hier durch den massiven Raps-Anbau mehr Extraktionsschrote im Inland gewonnen werden können). Beim Holz ist Österreich in allen Szenarien Netto-Exporteur.

Im Fleischbereich reduziert sich der Netto-Export an Raufutterverzehrer drastisch (auf ca. ein Drittel bis ein Viertel), während der Nettoimport von Schweinefleisch sich stark ausweitert (Faktor 6-8). Bedenkt man, dass dies zu einer deutlichen Verringerung des Flächenbedarfs im Inland führt – pro t

TM Fleisch sind etwa 10 t TM Pflanzenbiomasse nötig – sieht man bereits die Bedeutung dieser Verschiebungen.

In Abbildung 17 wurden die Außenhandelsvolumina grob in Flächenäquivalente umgerechnet. Dabei wurde generell von einem Verhältnis Fleisch : Pflanzenbiomasse-Input von 1 : 10 ausgegangen. Basis sind Österreichische Erträge des Jahres 1995 (für den Wert von 1995) sowie die Erträge im Jahr 2020 im TREND-Szenario (für den Wert von 2020). Die Doppelzählung, die sich durch eine getrennte Zählung des Flächenbedarfs für Öle und für Eiweißfuttermitteln ergeben würde, wurde bereinigt.³² Bei einer Interpretation dieser Zahlen ist dennoch zu berücksichtigen, dass diese Zahlen nur Grobanalysenscharfe aufweisen.

Abbildung 17 zeigt, dass sich bereits im TREND und im SUST-Szenario die Netto-Flächenimporte Österreichs gegenüber dem Wert von 1995 um etwa 1000 km² erhöhen, was etwa 8% der für 2020 zu erwartenden Ackerfläche entspricht – und somit keineswegs eine vernachlässigbare Größe darstellt. Die Erhöhung der Nettoimporte dürfte unter anderem auf die Erhöhung der Importe von Eiweißfuttermitteln auf Grund des Tiermehl-Fütterungsverbot zurückzuführen sein, spiegelt aber auch den Rückgang der Netto-Holzexporte wider.

Die Erhöhung der Nettoimporte Österreichs im GLOB-Szenario gegenüber dem TREND-Szenario entspricht einer Erhöhung des „Flächenimports“ um weitere 1000 km² landwirtschaftliche Fläche. In diesem Szenario würden sich dann bereits fast ein Drittel der Ackerfläche, die für Österreichs Biomasse-Metabolismus nötig ist, im Ausland befinden.

Am geringsten sind hingegen die Flächenimporte im MAX-Szenario, was durch die Erhöhung der Eigenversorgung mit Eiweißfuttermitteln aus dem Rapsanbau bedingt ist. Dies ist bei einer Interpretation der ungünstigeren Indikatorwerte des MAX-Szenarios im Hinblick auf HANPP, Kohlenstoffspeicherung und vor allem Energie- und Stickstoffinput zu berücksichtigen.

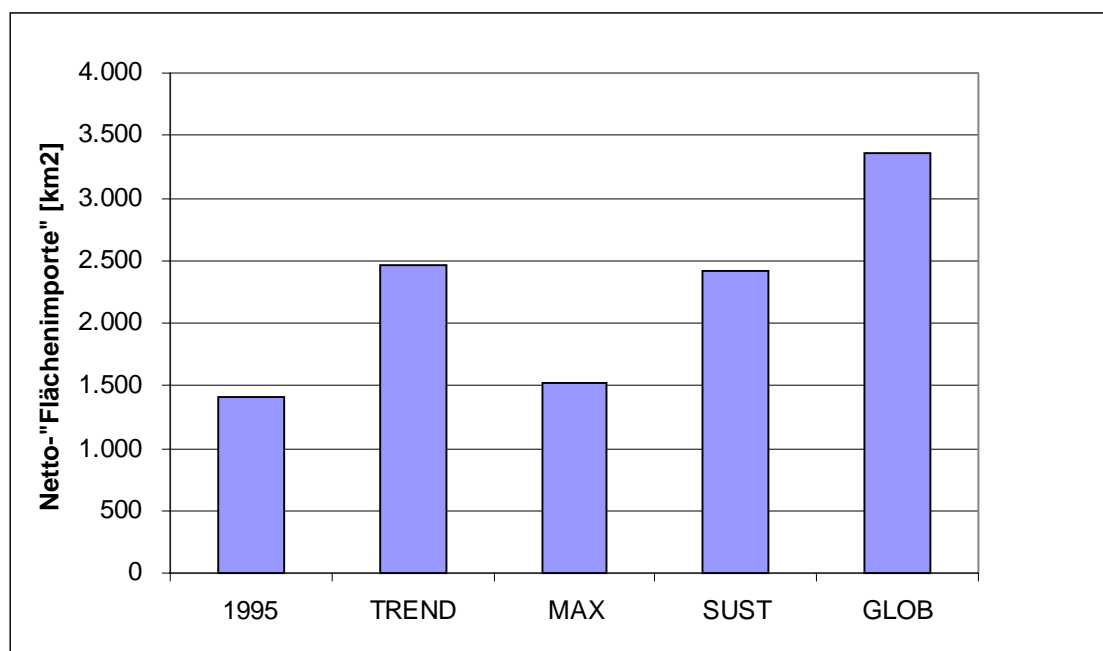


Abbildung 17. „Flächenimporte“ Österreichs 1995 und in den vier Szenarien.

Quelle: Eigene Berechnungen.

³² Kulturpflanzen, die zur Produktion von Ölen herangezogen werden, liefern in der Regel gleichzeitig – als Extraktionsschrote – Eiweißfuttermittel als „Kuppelprodukte“. Würde man den Flächenbedarf für Öle und für Eiweißfuttermittel getrennt ermitteln und addieren, so würde eine Doppelzählung entstehen. Wir haben hingegen beide Flächen berechnet und dann nur die größere der beiden gezählt, die andere hingegen vernachlässigt.

5.2 HANPP

5.2.1 Definition und Aussage des Indikators

Der Indikator HANPP („Human Appropriation of Net Primary Production“) zeigt an, um wie viel geringer die Energieverfügbarkeit in Ökosystemen an Biomasse-Energie auf Grund menschlicher Eingriffe im Vergleich zur potenziellen Vegetation ist. Die Definition von HANPP ist in Abbildung 18 dargestellt. Als Nettoprimärproduktion (NPP) wird die jährliche Energiemenge bezeichnet, die von grünen Pflanzen auf einer bestimmten Fläche als Biomasse gebildet und gespeichert wird. Sie variiert stark zwischen verschiedenen Vegetationstypen. Da pflanzliche Biomasse die Grundlage aller Nahrungsnetze ist, stellt NPP eine wichtige Maßzahl zur Charakterisierung von Ökosystemen dar. NPP ist eine Flussgröße (Rate) und kann in Form von Masseeinheiten (Trockenmasse in $\text{g}/\text{m}^2\text{yr}$) oder als kalorischer Energiegehalt der gebildeten Biomasse ($\text{MJ}/\text{m}^2\text{yr}$) ausgedrückt werden.

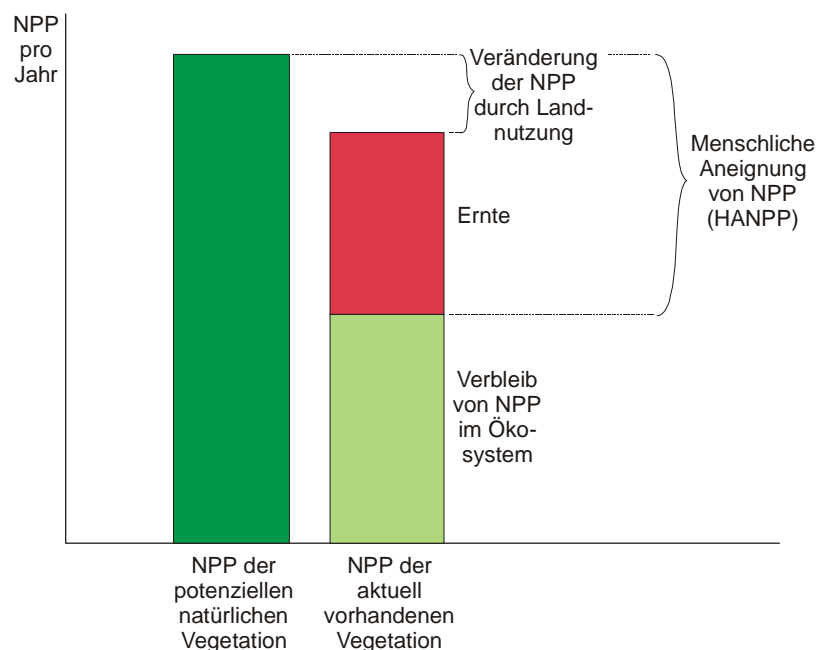


Abbildung 18: Definition der menschlichen Aneignung von Nettoprimärproduktion (HANPP).

Quelle: Haberl 1997.

5.2.2 Methode

Mit Hilfe einer Aggregation über verschiedene Vegetationseinheiten, deren Produktivität pro Flächeneinheit abgeschätzt werden kann (Sharpe 1975, Sharp et al. 1975 Haberl et al. 2001c), sowie anhand von Regressionsrechnungen mit Klimavariablen (Lieth 1975) ist es möglich, ausgehend von Flächendaten über Vegetationsbedeckung und Landnutzung die Nettoprimärproduktion von Regionen zu ermitteln. Die Berechnungen erfolgten für die Fläche von Österreich und wurden in einem geographischen Informationssystem (GIS) räumlich explizit auf der Ebene der politischen Gemeinden ($n=2350$) berechnet. Dabei wurde vergleichend von drei unabhängigen Quellen zur Landnutzung ausgegangen (Schulz 1999b). Aus methodischen Gründen und Gründen der Datenverfügbarkeit sind diese Berechnungen auf oberirdische NPP begrenzt (ANPP = aboveground net primary production) (Haberl 1995).

Um die gesellschaftliche Aneignung von Nettoprimärproduktion (HANPP) zu bestimmen, müssen drei Größen ermittelt werden (vgl. Abbildung 18): a) Die jährliche Produktivität der potentiellen Vegetation (NPP_0), b) die Produktivität der aktuellen Vegetation unter dem gegenwärtigen Landnutzungsregime (NPP_{akt}) c) die Menge an Biomasse, die jährlich geerntet wird (in der Forstwirtschaft, landwirtschaftliche Ernte auf Äckern und Grünland etc.) (NPP_e). Die Gesellschaftliche Aneignung von NPP (NPP_a) ergibt sich dabei als: $NPP_a = NPP_0 - NPP_t$; wobei $NPP_t = NPP_{akt} - NPP_e$. (Siehe Abbildung 14). Die Produktivität der potentiellen Vegetation ($ANPP_0$) wurde ausgehend von

Klimadaten und Regressionsrechnungen von Klima und NPP berechnet (Haberl 1995). Die räumliche Berechnung erfolgte ausgehend von einem digitalen Höhenmodell Österreichs. Für die Ermittlung der aktuellen NPP, sowie der geernteten NPP, wurden Daten des Statistischen Bundesamts über landwirtschaftliche Erträge auf Bezirksebene (n=99) herangezogen, sowie eine umfangreiche Literaturrecherche von Erntefaktoren (Krausmann 2001).³³

Die Berechnung der ANPP des Waldes wurde nicht mit Hilfe von Faktoren ermittelt, die aus der – in der Statistik erfassten – Ernte die ANPP abschätzen, sondern beruht auf der Waldfläche und einer Abschätzung der Produktivität (ANPP pro Flächeneinheit) des Waldes. Im Hinblick auf die neu hinzukommenden Waldflächen wurde auf Basis von Daten der Literatur (Cannell 1982) die Produktivität in Abhängigkeit vom Alter der Bestände mit Hilfe einer Sättigungsfunktion modelliert.

Zur Ermittlung der Sättigungskurve wurde eine Regressionrechnung durchgeführt, die auf Daten aus dem IBP (International Biological Programme) zur ANPP von Waldökosystemen, abhängig vom Alter des Bestandes und mit Österreich ähnlichen klimatischen Daten (4°C < x < 14°C; y < 1000mm Niederschlag) basiert, wobei wiederum die folgende Sättigungskurve zu Grunde gelegt wurde:

$$f(t) = K * (1 - e^{-rt})$$

Die Regression lieferte einen K-Wert von 1,005, einen Wachstumsparameter (r) von 0,0791 bei einem Bestimmtheitsmaß von 0,58 (Abbildung 19). Werte junger Stadien wurden auf einen Minimalwert von 0,25 kg/m²a gesetzt, um dem Umstand Rechnung zu tragen, dass auch vor kurzem aufgeforstete Flächen bereits eine ANPP aufweisen.

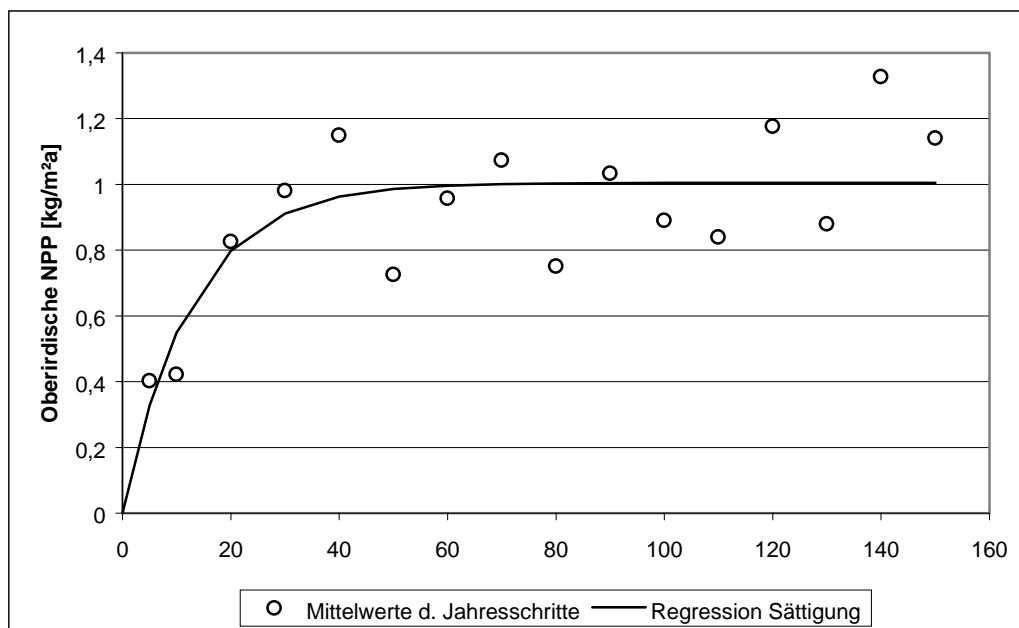


Abbildung 19. Oberirdische NPP von Waldökosystemen in Abhängigkeit vom Bestandesalter: Originaldaten von Cannell und die der Berechnung der ANPP der zuwachsenden Waldfläche zugrundegelegte Sättigungsfunktion; y-Achse: Bestandesalter.

Quelle: Cannell 1982, eigene Berechnung.

Für Flächen, welche im GLOB-Szenario aus der Nutzung genommen werde, wurden ANPP-Werte der typischen Vegetationseinheiten eingesetzt. Diese sind in Tabelle 37 dargestellt. Mit der Ackerbrache wurde analog verfahren.

³³ Erntefaktoren beschreiben die züchterisch beeinflusste Relation zwischen Ernteprodukt und Gesamtpflanze

Tabelle 37. Verwendete Standing Crop-Werte³⁴ und ANPP-Werte für die außer Nutzung gestellten Flächen im GLOB-Szenario

	Fläche	SC	ANPP	Energie- gehalt	ANPP	Turnover ³⁵
	[ha]	[kg/m ²]	[MJ/m ² a]	[MJ/kg]	[kg/m ² a]	[a]
nicht genutzte Hochalmen	163.309	2,00	3,6	18	0,22	10,00
n. gen. Nieder- und Mittelalmen	121.030	3,00	8,0	18	0,44	6,75
n. gen Grünland Landschaftspflege	75.715	0,55	11,0	17,2	0,64	0,86
n. gen Grünland Sukzession	42.038	6,00	11,0	18,3	0,60	9,98
n. gen. Ackerland	73.648	6,00	11,0	18,3	0,60	9,98

Quellen: Erb 1999, Haberl 1995, Krausmann 2001, Schulz 1999a. SC=Standing Crop

5.2.3 Ergebnisse

Die Ergebnisse der Berechnungen sind in Abbildung 20 dargestellt. Die HANPP betrug 1995 in Österreich 50,9% der potenziellen ANPP₀. Im TREND-Szenario und im SUST-Szenario kommt es – vor allem auf Grund der angenommenen Steigerung der Holzernte – zu einer Ausweitung der HANPP um knapp 2 Prozentpunkte. Im MAX-Szenario steigt die HANPP auf Grund der hohen Ackerfläche sowie der Maximierung des Holzeinschlages im Wald mehr als doppelt so stark (um fast 5 Prozentpunkte). Im GLOB-Szenario nimmt die HANPP für Österreich hingegen gegenüber 1995 ab. Dies ist vor allem eine Folge der deutlich geringeren landwirtschaftlichen Nutzflächen und der Erhöhung des Anteils von Wäldern und nicht genutzten Flächen an der Gesamtfläche Österreichs. Zu beachten ist allerdings, dass in diesem Fall die Netto-Importe landwirtschaftlicher Produkte deutlich höher sind als in den anderen Szenarien, d.h. es kommt zu einer Verlagerung der entsprechenden Vorleistungen ins Ausland.

³⁴ Standing Crop = Summe von Biomasse in einem Ökosystem. Hier als oberirdischer Standing Crop aufgenommen. S.u.

³⁵ Turnover ist das Verhältnis von Produktion zu Bestand, und drückt entweder die "Verweilzeit" oder der Akkumulationsrate von Biomasse (bzw. Energie oder Kohlenstoff) innerhalb von Ökosystemen aus. S.u.

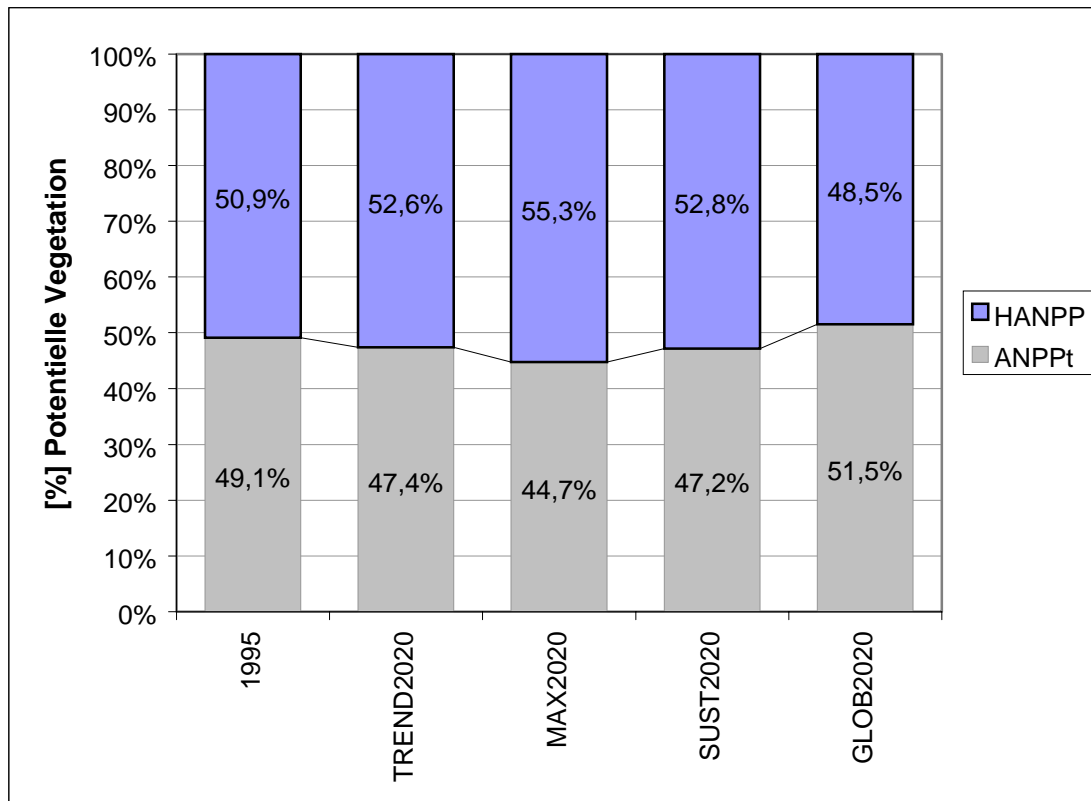


Abbildung 20: Gesellschaftliche Aneignung von Nettoprimärproduktion (HANPP) in Österreich im Jahr 1995 und in den vier Szenarien im Jahr 2020. ANPP_t bezeichnet den Verbleib von Biomasse in den Ökosystemen (vgl. Abbildung 18).

5.3. Kohlenstoff-Senke der oberirdischen Vegetation

5.3.1 Aussage des Indikators

Diese Indikatoren erlauben eine Aussage darüber, wie viel Kohlenstoff in der oberirdischen Vegetation in Form von Biomasse gespeichert vorhanden ist (Bestandsgröße), und wie viel Kohlenstoff von der oberirdischen Vegetation im jeweiligen Jahr (1995 bzw. 2020) jährlich gebunden wird. Die letztere Größe stellt also eine Flussgröße dar und beschreibt eine jährliche CO₂-Senke, wenn die Nutzung geringer als der Zuwachs ist, und eine CO₂-Quelle, wenn die Nutzung den Zuwachs übersteigt.

Zu beachten ist, dass hier aus Ressourcengründen keine unterirdischen Flüsse bzw. Bestände (d.h. organisches Material im Boden) berücksichtigt werden können. Der Grund dafür sind die sehr großen Unsicherheiten in diesem Bereich und der große Aufwand, der nötig wäre, um trotz Unsicherheiten einigermaßen interpretierbare Ergebnisse zu erhalten. Die C-Bestände im Boden sind deutlich größer als jene in der oberirdischen Biomasse. Tendenziell gilt jedoch, dass ein Aufbau von C-Speichern in der oberirdischen Biomasse (d.h. eine Erhöhung des Waldanteils) auch zu einem Aufbau von C-Beständen im Boden führt, wohingegen Entwaldung zu einem C-Verlust im Boden beiträgt. Daher kann man davon ausgehen, dass wir sowohl die gesamten C-Bestände als auch die gesamten C-Flüsse deutlich unterschätzen.

5.3.2 Methode

1995

Der Biomassevorrat³⁶ der oberirdischen Vegetation Österreichs für das Jahr 1995 wurde für Wälder über die Bundesforstinventur (BFI) 1992-1996 ermittelt. Dabei wurde der gesamte Biomassevorrat aus

³⁶ =Standing Crop, also die Gesamtheit von Organismen innerhalb einer Flächeneinheit. Der Standing Crop ist eine Bestandsgröße und kann in Masseinheiten, in Energieeinheiten oder in Kohlenstoffeinheiten (jeweils absolut oder pro Flächeneinheit: z.B. t (Tonnen) Biomasse, PJ, tC bzw. kg/m², MJ/m² oder kgC/m²) ausgedrückt werden.

der Vorratsangabe der BFI mit Hilfe von Expansionsfaktoren³⁷ errechnet. Grundlage dafür waren Angaben über den oberirdischen Standing Crop der einzelnen Biomassefraktionen wie Rinde, Zweige, Äste, Früchte, Blätter und der Dendromasse (Vorrat an Stammholz) aus der Literatur (Cannell 1982) sowie Umrechnungsfaktoren von Vorratsfestmetern (Vfm) zu Trockenmasse (Erb 1999, Haberl 1995). Der Kohlenstoffgehalt der oberirdischen Vegetation wurde mit 45% angenommen (Quellen siehe Haberl et al. 2001c). Die Expansionsfaktoren wurden für die einzelnen Baumarten getrennt ermittelt und angewandt. Strauchflächen und Blößen und Lücken innerhalb des Bestandes wurden ebenfalls berücksichtigt: Für Strauchflächen wurde ein Flächenwert von 2,7 kgC/m² (Kilogramm Kohlenstoff pro Quadratmeter) angenommen, für Blößen und Lücken 0,22 kgC/m². Da aus der BFI für Schutzwälder außer Ertrag keine Vorratsangaben hervorgehen, wurde für diese Wälder der mittlere Standing Crop der Potenziellen Vegetation Österreichs angenommen: 11,7 kgC/m² (Quellen für alle diese Annahmen: Erb 1999).

Für die Berechnung des Standing Crop der anderen Vegetationseinheiten wurde der Spitzenwert des Standing Crop im Verlauf der Vegetationsperiode (peak SC) herangezogen. Für ackerbaulich genutzte Flächen wurde dabei der oberirdische Standing Crop der ANPP gleichgesetzt und Fraß- bzw. Detritus-Verluste abgezogen. Für Grünländer wurde ein flächenbezogener Standing Crop von 0,25 kgC/m² angenommen (für Details siehe Erb 1999), für Brachflächen (Grün- und Ackerbrache) ein Wert von 0,17 kgC/m², für Gartenländer 2,1 kgC/m², für Alpine Rasen und Matten 0,45 kgC/m². Diese Berechnungsgrundlage wurde in allen Szenarien verwendet.

Die Netto-Kohlenstoffsенke wurde rein auf Basis von bestandsaufbauenden Vegetationseinheiten berechnet, also nur auf verholzende Vegetationstypen (Wälder und Verbuschung) bezogen. Basis dafür war die Angabe der BFI über den Zuwachs von Dendromasse abzüglich der Angabe über die Nutzung (jeweils in Vfm). Über die oben erwähnten Expansionsfaktoren wurde die Nettosenke in Kohlenstoffeinheiten errechnet.

Szenarien TREND und SUST

Aus den Angaben über die ANPP_{act} (Krausmann 2001, Schulz 1999a) und den aus der BFI hervorgehenden Angaben über den jährlichen Dendromasse-Zuwachs wurde der Anteil des Zuwachses an holzigem Material im Wald an der gesamten ANPP ermittelt. Dieser beläuft sich auf 34,5%. Aus der jährlichen ANPP für den Zeitraum 1995 bis 2020 (24 Schritte) wurde der jährliche Stammholzzuwachs des Waldes ermittelt. Aus einer linearen Fortschreibung der Holzernte (inklusive Rinde) des Jahres 1995 (9,324 Mt TM) bis zur aus dem Biomassemodell hervorgehenden Holzernte für das Szenario TREND im Jahre 2020 (10,023 Mt TM) wurde die jährliche Ernte berechnet und von dem so errechneten Holzzuwachs abgezogen. Dadurch ergab sich der jährliche Nettozuwachs, welcher in Summe den Nettozuwachs an Holzbiomasse im bestehenden Wald des Jahre 1995 im Jahre 2020 ergab. Dieser wurde über die oben genannten Expansionsfaktoren zum Standing Crop hochgerechnet.

Der Standing Crop auf den im Jahr 2020 prognostizierten zusätzlich vorhandenen Waldflächen wurde über einen mittleren flächenbezogenen Standing Crop von bis zu 25 Jahre alten Wäldern errechnet. Auf Basis von Standing Crop-Angaben des IBP (Cannell 1982) von Wäldern mit einem Bestandesalter von 0 bis 25 Jahren und mit klimatischer Ähnlichkeit mit Österreich ($4^{\circ}\text{C} < x < 14^{\circ}\text{C}$ mittlere Jahrestemperatur und $y < 1000\text{mm}$ mittlerer jährlicher Niederschlag) wurde eine Wachstumskurve mittels exponentieller Regression ermittelt ($R^2: 0,57$). Diese Wachstumskurve wurde dem Standing Crop-Aufbau auf der gesamten Neufäche des Waldes zugrundegelegt (Abbildung 21). Angenommen wurde dabei eine stetige lineare Flächenzunahme, der Standing Crop ergab sich als Akkumulation des Standing Crop der verschiedenen Altersklassen (Integral).

³⁷ Da die Bundesforstinventur Angaben nur in Dendromasse (Vorrat an Stammholz) macht, dienen die Expansionsfaktoren zur Ermittlung des gesamten Biomassevorrats im Ökosystem, also der Mitberücksichtigung von Ästen, Zweigen, Blättern, Unterwuchs etc. Die einzelnen Kompartimente werden als Prozent der Dendromasse ermittelt und auf die Dendromasse-Angaben angewandt.

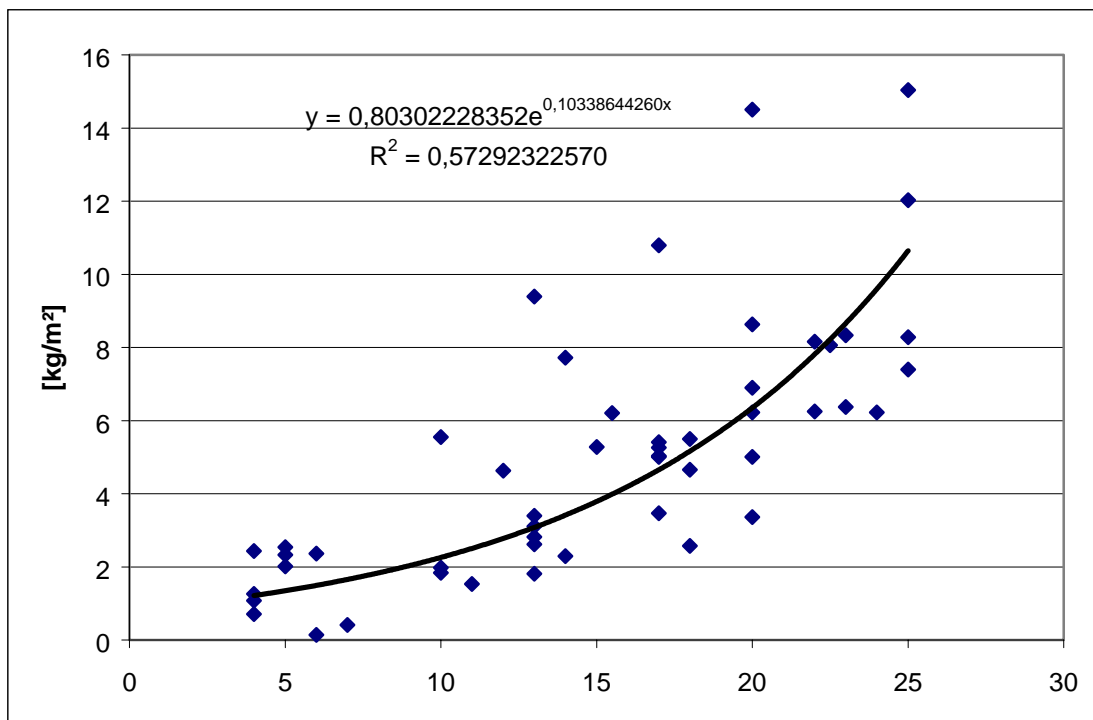


Abbildung 21. Der Berechnung des Standing Crop der zuwachsenden Waldfläche zu Grunde gelegte Wachstumsfunktion des oberirdischen Standing Crop im Zeitverlauf der Sukzession; y-Achse: Bestandesalter.

Quelle: Cannell 1982, eigene Berechnungen. Der Kohlenstoffgehalt wurde mit 45% der Biomasse angenommen.

Die Nettokohlenstoffsенке wurde für die bestehenden Wälder als Differenz des jährlichen Kohlenstoffbestandes der letzten zwei Jahrespunkte berechnet. Analog wurde bei der Nettokohlenstoffsенке durch Waldflächenzuwachs verfahren: Die Nettosenke wurde als die Differenz des Kohlenstoffspeichers nach 25 Jahren und nach 24 Jahren errechnet.

MAX-Szenario

Das Verfahren war im Wesentlichen analog zur Berechnung des Kohlenstoffinventars für das TREND-Szenario. Als neue Variable musste hier der erhöhte Einschlag im Jahr 2020 berücksichtigt werden. Dieser beläuft sich im Jahr 2020 auf rund 85% des Gesamtzuwachses an Stammholz, das sind 11.395 Mt TM. Bei den anderen Vegetationseinheiten wurde das selbe Verfahren angewendet wie beim TREND-Szenario. Dabei wurde angenommen, dass der Einschlag linear vom Wert des Jahre 1995 auf den Wert im Jahr 2020 ansteigt.

Die Kurzumtriebswälder sind eine ausschließlich im MAX-Szenario vorkommende Vegetationseinheit. Ihre Kohlenstoffspeicherung wurde wie folgt ermittelt: Aus den Angaben über die jährliche Ernte (8,46 t TM/ha) und einer Kurzumtriebszeit von 5 Jahren wurde der Spitzenwert des Standing Crop dieser Vegetationseinheit errechnet. Der Standing Crop des Vegetationstyps wurde als Integral einer exponentiellen Wachstumsfunktion errechnet, die diesen Spitzenwert des Standing Crop nach 5 Jahren erreicht.

GLOB-Szenario

Die Entwicklung der Waldbestockung auf der Waldfläche von 1995 wurde wie im TREND-Szenario angenommen. Neu ist in diesem Szenario, dass die Waldfläche deutlich stärker zunimmt als im TREND-, MAX- und SUST-Szenario. Dabei wurde analog wie mit den neuen Waldfläche in den anderen Szenarien verfahren (linearer Flächenzuwachs mit dem Integral der Wachstumsfunktion).

Zusätzlich zu den Vegetationstypen 1995 und der anderen Szenarien wurde im GLOB-Szenario eine Nutzungsauffassung auf Grünland, Almen und Ackerland angenommen. Für das Grünland wurden zwei Optionen gewählt: "Pflege", also Erhalt der Grünlandcharakteristik, und Überlassung der natürlichen Sukzession. Für das Ackerland wurde angenommen, dass die natürliche Sukzession wirksam werden kann. Die Standing Crop Werte für die Sukzessions-Flächen sind Werte von Sträuchern (2,7 kgC/m²) bzw. Mischwerte aus Sträuchern und Grünland. Für das Grünland und Landschaftspflegeflächen wurde der Wert für Wiesen und Weiden angenommen (siehe Tabelle 37).

Zusätzlich zur der in den anderen Szenarien angewandten Methodik wurden hier auch die Strauchbestände als Kohlenstoffsinken gesehen, jedoch nur deren holziger Teil. Dies betrifft die außer Nutzung gestellten Flächen (außer das Grünland und die „Landschaftspflegeflächen“). Die Standing Crop-Werte wurden daher auf den Holz-Anteil reduziert, und fanden so Eingang in die Senkenkalkulation.³⁸

5.3.3. Ergebnisse

Die Ergebnisse hinsichtlich des Kohlenstoff-Vorrates der oberirdischen Vegetation insgesamt (d.h. Wald plus landwirtschaftliche Flächen) ist in Abbildung 22 dargestellt. Demnach kommt es in allen vier Szenarien zu einem beträchtlichen Bestandsaufbau an oberirdischer Biomasse (Aufbau an Standing Crop), d.h. zu einem Aufbau des Kohlenstoff-Bestandes in der Vegetation gegenüber 1995. Der geringste Kohlenstoff-Vorrat findet sich im MAX-Szenario, der größte im GLOB-Szenario. TREND und SUST-Szenario sind praktisch gleich.

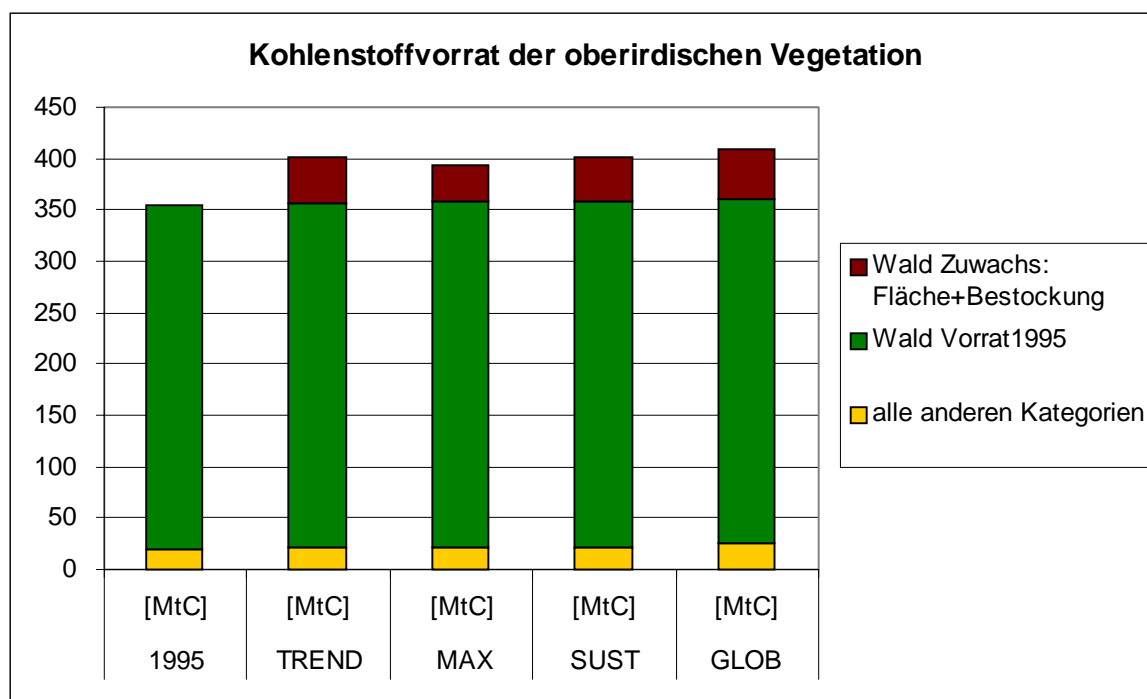


Abbildung 22. Kohlenstoffvorrat der oberirdischen Vegetation 1995 und in den vier Szenarien im Jahr 2020.

Quelle: Eigene Berechnungen.

Politikrelevant ist vor allem die jährliche Senkenfunktion der Vegetation in den Szenarien (Abbildung 23). Hier zeigt sich, dass die Ausweitung der Biomassenutzung im MAX-Szenario zu einer beträchtlichen Verringerung der C-Senkenfunktion der Vegetation führt: Im MAX-Szenario bindet die Vegetation nur etwa halb so viel CO₂ wie im TREND- und im SUST-Szenario. Am größten ist die C-Senke im GLOB-Szenario, wobei es hier zu einer Verlagerung der Landnutzung ins Ausland kommt, die in dieser Rechnung (Bilanzgröße ist die Fläche Österreichs) nicht berücksichtigt werden konnte (vgl. Kapitel 5.1). Zu beachten ist auch, dass die besonders große C-Senke im GLOB-Szenario bei

³⁸ Angenommen wurde ein linearer Bestandsaufbau, d.h. eine jährliche Senke in Höhe von 1/25 des Spitzenwertes im Jahr 2020.

einer Berücksichtigung der Veränderungen der unterirdischen Kohlenstoffbestände „schrumpfen“ könnte, weil in diesem Szenario das Grünland, das besonders viel C unterirdisch speichert, am meisten zurückgehen würde.

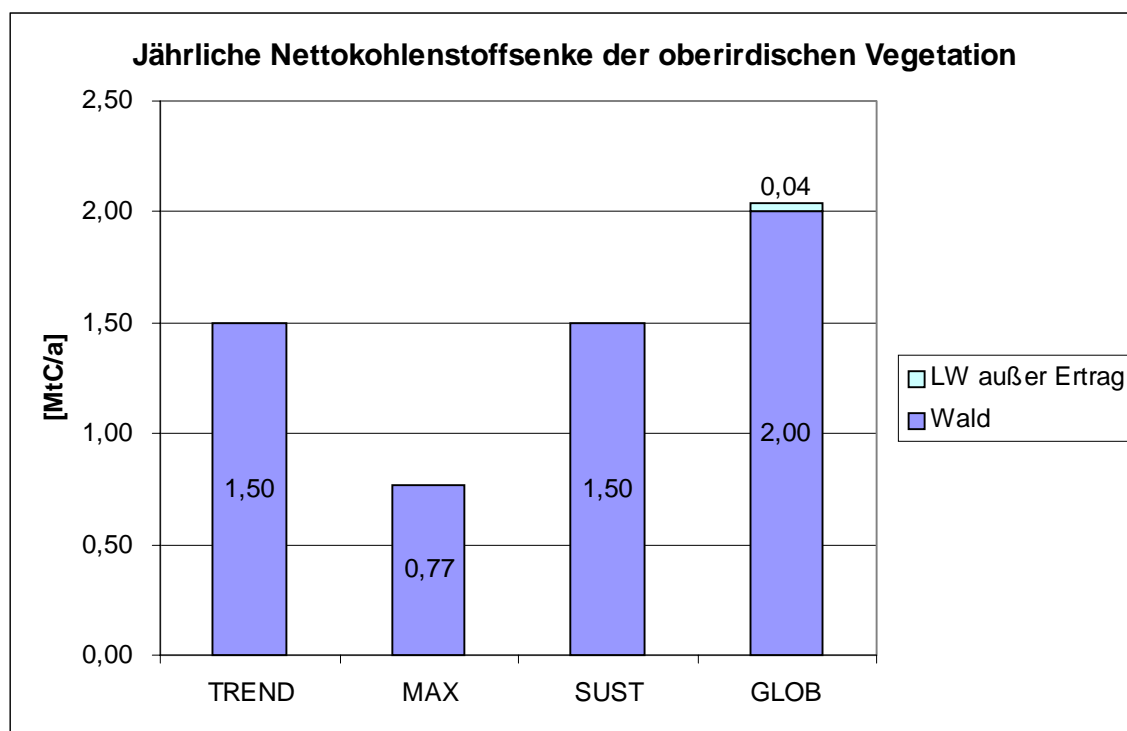


Abbildung 23. Jährliche Netto-Kohlenstoffsенke in der oberirdischen Vegetation in den vier Szenarien im Jahr 2020.

Quelle: Eigene Berechnungen.

Zur Interpretation: 1 MtC entspricht 3,67 Mt CO₂. Eine jährliche C-Senke von 1,5 MtC entspricht daher einer CO₂-Menge von 5,5 Millionen Tonnen CO₂, das sind ca. 8-9% der jährlichen CO₂-Emissionen Österreichs. Diese zwei Größen sind vergleichbar, da sowohl die jährlichen CO₂-Emissionen, als auch die jährliche CO₂-Bindung der Vegetation eine jährliche Flussgröße darstellen.

Diese Senkenfunktion der Vegetation erklärt sich vor allem daraus, dass seit etwa 200 Jahren in Österreich die Waldfläche wächst, nachdem sie in den Jahrhunderten vorher im Zuge der Besiedelung Österreichs und der Zunahme der Bevölkerung im Lauf der Zeit zu Gunsten von Acker- und Grasland zurückgedrängt worden war. Ein wichtiger Grund für die Rückgänge von Acker- und Grasland und die Steigerung der Waldfläche ist, dass – vor allem seit 1950 – in Folge eines erhöhten Fossilenergieinputs in die Landwirtschaft die Erträge deutlich gesteigert werden konnten, sodass die gleiche Menge Biomasse auf geringeren Flächen produziert werden konnten.

Die Ausweitung der Biomassenutzung im MAX-Szenario ist mit einer Verringerung der CO₂-Senkenfunktion der österreichischen Vegetation um 0,73 Mt C (ca. 2,57 Mio. t CO₂) verglichen mit dem TREND- bzw. dem SUST-Szenario verbunden. Bedenkt man, dass die Senkenfunktion der Vegetation im SUST-Szenario gleich groß ist wie im TREND-Szenario, so erscheint folgender Vergleich aussagekräftig:

Im MAX-Szenario werden etwa 22 PJ mehr Biomasse zur Energieproduktion eingesetzt als im SUST-Szenario. Nimmt man – für eine ganz grobe Rechnung – an, dass mit dieser Energie Erdöl ersetzt wird, und nimmt man weiter an, dass diese 22 PJ einer Einsparung von 22 PJ Erdöl entsprechen, so würde der Einsatz dieser 22 PJ Biomasse eine CO₂-Einsparung von etwa 1,7 Mio. t CO₂

ermöglichen.³⁹ Würde man 22 PJ Kohle ersetzen – was aber unrealistisch erscheint – so würde sich eine CO₂-Einsparung von etwa 2,2 Mio. t. CO₂ ergeben. Die Ausweitung der Biomassenutzung im MAX-Szenario führt aber zu einer Verringerung der CO₂-Senkenfunktion der Vegetation um 2,57 Mio. t. Dies ist mehr, als CO₂ eingespart werden kann, selbst wenn durch den Einsatz der Biomasse der schmutzigste Energieträger (Kohle) ersetzt werden würde. Das bedeutet, dass die Ausweitung der Biomassenutzung gemäß MAX-Szenario im Vergleich zum SUST-Szenario aus Klimaschutzgründen kontraproduktiv ist.

Ein Vergleich von MAX und TREND-Szenario zeigt, dass im MAX-Szenario etwa 48 PJ mehr Biomasse für Energiegewinnung zur Verfügung stehen. Vernachlässigt man die höhere Effizienz fossiler Energieträger, so würde die Einsparung dieser Menge an Öl einer CO₂-Einsparung von 3,7 Mio. t CO₂ entsprechen, im Fall eines Ersatzes von Kohle (der allerdings unrealistisch ist) wären es sogar ca. 4,8 Mio. t CO₂. In diesem Fall wäre also die Verringerung der CO₂-Senke im MAX-Szenario geringer als die Einsparung an CO₂ durch die Verfügbarkeit von mehr Biomasse. Doch diese Rechnung ist äußerst vereinfacht und unzureichend genau, um zu entscheiden, ob die Ausweitung des Biomasseeinsatzes wie im MAX-Szenario gegenüber TREND tatsächlich einen positiven Netto-CO₂-Effekt bringt. Unterstellt man etwa ein Verhältnis des Einsatzes von Biomasse-Energie und Einsparung von Fossilenergie von 1 : 0,8 (Hall et al. [1986] geben noch pessimistischere Werte an), so beträgt die Einsparung nur mehr 38 PJ Fossilenergie. Nimmt man den prognostizierten Fossilenergiemix der WIFO-Prognose im Jahr 2020 (8% Kohle, 42% Gas und 50% Öl) an, so ergibt sich bereits nur mehr eine CO₂-Einsparung von 2,6 Mio. t im MAX-Szenario gegenüber dem TREND-Szenario, was ziemlich genau der Verminderung der C-Senkenfunktion der oberirdischen Vegetation entspricht.

Hierbei ist zu beachten, dass wir die CO₂-Senke wahrscheinlich deutlich unterschätzen, weil wir nur oberirdische Prozesse berücksichtigen. So wäre etwa im MAX-Szenario die Grünlandfläche – auf Grund der Ausweitung der Ackerfläche – besonders gering; Grünland speichert aber viel Kohlenstoff im Boden. Berücksichtigt man zusätzlich diese Verminderung der unterirdischen C-Senken auf Grund der geringeren Grünlandflächen im MAX-Szenario im Vergleich zu TREND, so könnte der Netto-CO₂-Effekt sogar deutlich zu Gunsten des TREND-Szenarios sprechen.

Problematisch ist also im MAX-Szenario einerseits die Ausweitung der Primärholznutzung; auf diese entfällt der gesamte hier von uns berechnete Effekt der Ausweitung der Biomassenutzung im MAX-Szenario auf die C-Senken. Eine Berücksichtigung der Veränderung der unterirdischen C-Bestände würde wahrscheinlich zeigen, dass die Verringerung der Grünlandflächen problematisch ist, da im Grünland große Mengen C unterirdisch gespeichert werden. Dies könnte vor allem die große C-Senke im GLOB-Szenario deutlich verringern oder sogar die Szenarien TREND/SUST im Hinblick auf C-Senken günstiger erscheinen lassen.

Nur eine kaskadische Nutzung von Biomasse, wie sie im SUST-Szenario modelliert wurde, dürfte praktisch keine Auswirkungen auf die C-Senken (im Vergleich zu TREND) haben und daher – auf Grund der Substitution von Fossilenergie – in jedem Fall eine vorteilhafte Netto-CO₂-Bilanz im Vergleich zu TREND aufweisen.

Insgesamt bedeuten die hier angestellten Berechnungen, dass die Ausweitung der Biomassenutzung nicht in allen Fällen CO₂-neutral sein muss, und somit nicht in allen Fällen einen Beitrag zum Klimaschutz darstellt. Auf Grund der Komplexität und der Aktualität dieses Themas erscheinen weitere Arbeiten in diesem Bereich dringend geboten.

5.4 Ausbringung von mineralischem Stickstoff

5.4.1 Aussage des Indikators

Dieser Indikator gibt an, wie viel mineralischer Stickstoffdünger – gemessen als Reinnährstoff – in den einzelnen Szenarien aufgewendet werden muss. Der Indikator liegt gegliedert nach Kulturarten und Landnutzungskategorien vor.

³⁹ Dies ist außerordentlich optimistisch, weil Erdöl auf Grund seiner höheren Energiedichte und Qualität ein wesentlich effizienterer Brennstoff ist als Biomasse (Hall et al. 1986).

5.4.2 Methode

Der Indikator Stickstoff wurde für die Szenarien folgendermaßen ermittelt: Für das Jahr 1995 wurden die Stickstoff-Düngeempfehlungen nach ÖPUL (BMLFUW 2001) pro Flächeneinheit (in kg rein N/ha) für die Flächen der Kulturartenaggregate angewandt. Mischwerte für Aggregate wurden nach dem gewichteten Mittel bestimmt. Diese Berechnungsgrundlage (s. Tabelle 38) lieferte ein Düngeaufkommen für Österreich für das Jahr 1995 von 132.800 t/a. Statistische Werte für die gesamte Düngeverwendung betragen 127.537 (Präsidentenkonferenz der Landwirtschaftskammern 1997) bzw. 143.818 (Reinnährstoffverbrauch 1997 laut BMLF 1998a), der durch die verwendete Methode ermittelte Wert liegt also innerhalb dieser zwei Werte.

Das Grünland wurde als ungedüngt angenommen. Der Düngeraufwand wurde daher als gänzlich von Wirtschaftsdünger gedeckt angenommen.

Der Düngeraufwand für die verschiedenen Szenarien wurde in einem ersten Schritt über eine Entzugsrechnung errechnet. Dabei wurde über die Ernte in den einzelnen Szenarien der Unterschied zum Jahr 1995, sowohl für das Erntehauptprodukt (z.B. Getreidekörner, Maiskörner, Rapskörner), als auch für Erntenebenprodukten (z.B. Stroh, Maisstroh, Kartoffelstroh) bestimmt. Über die Stickstoffgehalte der einzelnen Biomassefraktionen (Tabelle 39) wurde der Mehrentzug an Stickstoff auf Grund der im Jahr 2020 höheren Erträge bestimmt und auf den Düngeraufwand 1995 aufgeschlagen.

Tabelle 38. Düngeaufwand je Kulturart und Ertragslage gemäß ÖPUL 2000.

	1997 [km ²]	Ertrags- niveau (Kategorie)	Düngeraufwand [kg reinN /ha]	Düngerverbrauch, errechnet [t N]
Weizen	2.598	M	130	33.774
Roggen	578	M	100	5.780
Gerste	2.656	M	87,29	23.185
Hafer	405		90	3.645
Körnermais	1.883	M-H	173	26.362
Silo- und Grünmais	845	M-H	140	11.830
Kartoffeln	235	M-H	110,00	2.585
Zuckerrüben	516	H	112,5	5.805
Futterrüben	12	N	112	134
Raps/Rübsen	747	M	140	10.458
Summe Klee	734			-
Hülsenfrüchte	689			-
Ackerbrache	748			-
Sonstige Feldfrüchte	737		60	4.421
Ackerland gesamt	13.863			-
Obst- und Gartenland	271		60	1.626
Weingärten	525		60	3.150
Wiesen einschnittig	581			-
Wiesen mehrschnittig	8706			-
Streuwiesen	157			-
Egarten	480			-
Wiesen	9.658			-
Kulturweiden	678			-
Hutweiden	802			-
Weiden	1.480			-
Almen und Bergmähder	8.511			-
SUMME				132.756

Quelle: ÖSTAT (Fläche); ÖPUL (Düngeempfehlungen)

Tabelle 39. Stickstoffgehalt der Kulturarten bezogen auf Erntehauptprodukt und Erntenebenprodukt

	N-Gehalt Hauptprodukt: Getreidekörner etc. [gN/kgErntegut]	N-Gehalt Nebenprodukt - Stroh etc [kgN/t]
Brotgetreide	18,97	
Weizen	19,58	4
Roggen	16,24	4
Futtergetreide	16,69	
Gerste	16,59	5
Hafer	17,28	5
Körnermais	15,49	9
Silomais	2,9	
Kartoffel	3,37	2,4
Zuckerrübe	1,94	3,3
Raps	35,83	8
Sonnenblume	30,5	4
Sonstige Feldfrüchte	13,1	5,1
Garten	0,8	
Wein	0,1gN/1000hl	
Äpfel/Birnen	0,76	

Quelle: V. Gaube (pers. komm.)⁴⁰

Da diese Entzugsdüngung nur die Mindestmengen beschreibt, welche dem Boden zugeführt werden muss, nicht jedoch zur ausreichenden Nährstoffversorgung ausreicht, wurde in Folge ein „Expansionsfaktor“ zu Ermittlung des tatsächlich notwendigen Düngaufwandes errechnet. Dieser ergab sich aus dem Verhältnis von Nährstoffentzug durch Ernte im Jahr 1995 und dem ermittelten Gesamt-Düngaufwand für die Kulturartenaggregate. Diese Expansionsfaktoren sind in Tabelle 40 dargestellt.

Für die im MAX-Szenario unterstellten Kurzumtriebswälder auf der Ackerbrachfläche wurde eine Entzugsdüngung angenommen. Der Wert beläuft sich auf 5 kg rein N/t TM und stellt eine Ausgleichsdüngung zu Beginn einer jeden Rotation (Umtriebszeit 5 Jahre) dar. Dies ergab eine zu erbringende Düngeleistung von 2,87 [1000t rein N] für das Jahr 2020 im MAX-Szenario. Eine Vergleichsrechnung zu alternativen Energieplantagen, z.B. die Getreideganzpflanzenverbrennung, ergab bei gleichem Energieoutput eine Düngenotwendigkeit von etwa 8,29 – 10,64 [1000 rein N], also das rund dreifache des notwendigen Düngaufwandes für die Kurzumtriebswälder.

⁴⁰ Die Diplomarbeit von Veronika Gaube wurde mit Mitteln aus dem Projekt gefördert.

Tabelle 40. Faktoren zur Berechnung des Düngeaufwandes aus der Entzugsdüngung

	"Überschussdüngung" Faktor
Brotgetreide	1,505
Futtergetreide	1,202
Körnermais	1,213
Silomais	4,056
Kartoffel	5,488
Zuckerrübe	4,467
Raps	3,198
Sonnenblume	1,352
Sonst. Feldfrüchte	1,000
Garten	10,000

Quelle: eigene Berechnung

Zusammenfassend ist also festzuhalten, dass die von uns gewählte Methode sowohl die Veränderungen der Flächennutzung – also der Ackerfläche insgesamt sowie der Kulturartenverteilung – als auch des Ertragsniveaus berücksichtigt.

5.4.3. Ergebnis

Das Ergebnis ist in Abbildung 24 zusammengefasst. Der Aufwand an mineralischem N-Dünger steigt in allen Szenarien gegenüber 1995 an. Das MAX-Szenario weist mit Abstand den höchsten Aufwand an N-Dünger auf, was auf 2 Faktoren zurück geht: 1) in diesem Szenario ist die landwirtschaftlich genutzte Fläche am größten 2) der Anteil an besonders düngerintensiven Kulturarten wie Raps ist besonders hoch. Das SUST-Szenario weist einen etwas höheren Dünger-Aufwand auf, als das TREND-Szenario (weil in SUST die Ackerfläche zu Lasten der Ackerbrache ausgedehnt wurde); allerdings kann in diesem Szenario wesentlich mehr Energie aus Biomasse bereitgestellt werden. Das GLOB-Szenario liegt sehr ähnlich wie das TREND-Szenario, obwohl die Anbauflächen viel kleiner sind. Dies liegt daran, dass das Ertragsniveau höher ist und daher mehr gedüngt werden muss. Zudem ist der Anteil düngerintensiver Kulturarten (Getreide) höher.

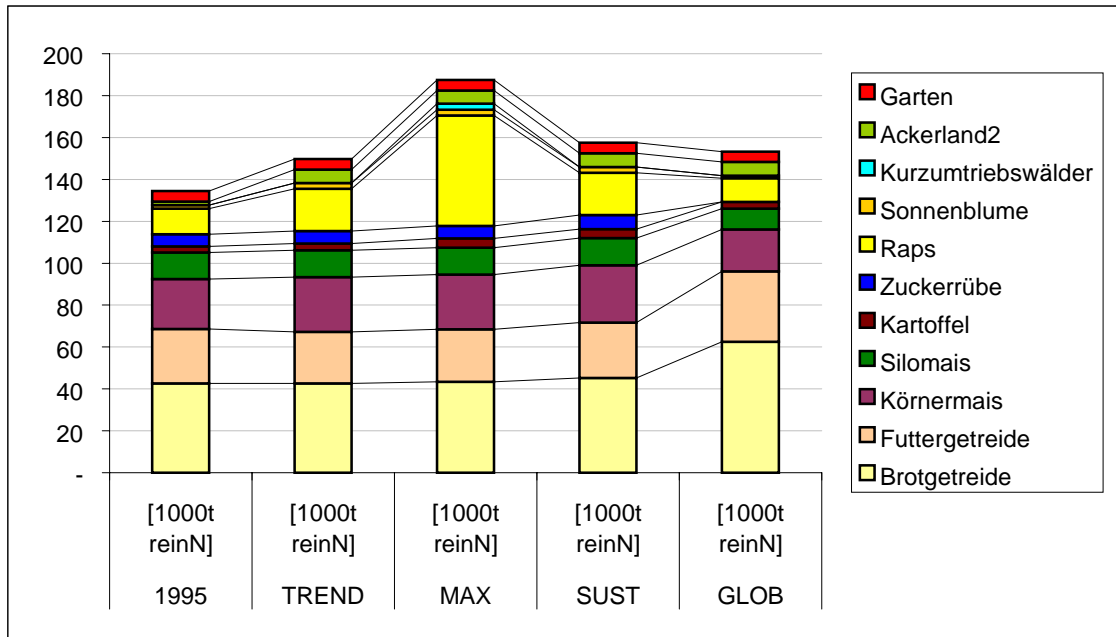


Abbildung 24. Aufwand an mineralischem Stickstoff-Dünger im Jahr 1995 und in den vier Szenarien im Jahr 2020.

Quelle: Eigene Berechnung.

Den Effekt der Intensivierung zeigt die folgende Darstellung (Abbildung 25), in der der Aufwand an Stickstoff je Hektar dargestellt ist. Das MAX-Szenario liegt deswegen sehr hoch, weil der Anteil an N-zehrenden Kulturarten groß ist. Dafür kann mehr Energie bereit gestellt und ein Teil der Eiweißschrotimporte vermieden werden. Das GLOB-Szenario weist auf Grund der hohen Intensität der Landnutzung – bei einem Rückgang der bewirtschafteten Flächen – den höchsten Düngereinput je Flächeneinheit auf.

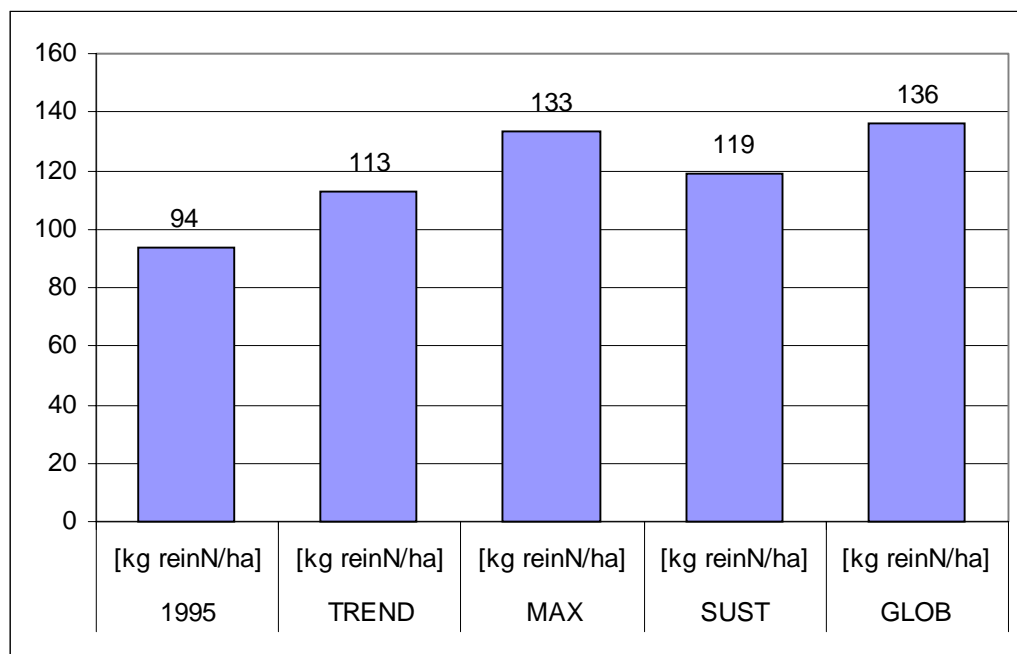


Abbildung 25. Aufwand an mineralischem Stickstoff-Dünger je Flächeneinheit 1995 und in den vier Szenarien im Jahr 2020.

Quelle: Eigene Berechnungen.

5.5. Fossilenergie-Input im Ackerbau

5.5.1 Aussage

Dieser Indikator gibt näherungsweise den Fossilenergieinput in die Landwirtschaft im Ackerbau wieder. Näherungsweise deshalb, weil wir aus Ressourcengründen nur den Aufwand an Treibstoff für die Landbewirtschaftung (Traktoren etc.) und den Energieaufwand für die Herstellung von mineralischen Stickstoffdüngern berücksichtigen konnten. Diese machen zusammen in der Regel etwa 70-80% des Fossilenergieinputs in der Landwirtschaft aus (Kjer et al. 1994, Haas und Köpke 1994). Nicht berücksichtigt werden kann hier auch der Einsatz von fossiler Energie bei der Umwandlung der Kulturarten in Rohstoffe wie z. B. Stärke oder Endprodukte wie z. B. RME sowie den Energiebedarf in der Tierhaltung. Nicht erfasst ist auch der Stromverbrauch der Landwirtschaft und der mit der Stromerzeugung verbundene Energieeinsatz. Der gesamte Energiebedarf der Landwirtschaft laut Energiestatistik ist deutlich höher.

5.5.2 Methode

Aus dem für den Indikator Stickstoff ermittelten Düngeaufwendungen wurde über einen "hidden flow" Faktor für Stickstoff (Kjer et al. 1994) der Energieaufwand für die Düngerebereitstellung abgeschätzt. Die Angabe beläuft sich auf 52,8 MJ/kg rein N. Zum Vergleich hierzu: die Angabe von Haas und Köpke (1994): 55,5 MJ/kg rein N.

Für die Abschätzung des direkten Energieaufwandes für den Maschinenbetrieb (Treibstoffverbrauch) der Landwirtschaft wurden aus den Deckungsbeiträgen (BMLF 2000b) aus den variablen Maschinenkosten bzw. dem Lohndrusch die Kosten für den Treibstoff ermittelt. Die Flächenkosten für Treibstoff wurden, entsprechend den Angaben in den Deckungsbeiträgen, als abhängig von den Flächenerträgen der Biomassefraktionen in den einzelnen Szenarien angenommen.

Dabei wurde angenommen, dass 50% der variablen Maschinenkosten bzw. 10% des Lohndruschs auf Treibstoffkosten entfällt. Diese Kosten pro Flächeneinheit wurden über den Preis für Diesel (3. Quartal 1998) ohne Umsatzsteuer (ATS 7,0 pro Liter; Präsidentenkonferenz, pers. Komm., 2001) in Treibstoffmengen pro Fläche umgerechnet (Tabelle 41). Über die Flächenausdehnung der einzelnen

Biomasseaggregate wurde der Treibstoffaufwand der Landwirtschaft ermittelt. Für die Forstwirtschaft wurde angenommen, dass 0,7% des Gesamtenergieoutputs für die forstwirtschaftliche Ernte aufgewendet werden muss (Darge 2001). Aus der Inlands-Entnahme der Forstwirtschaft (10,151 Mt im Jahr 1995, 11,714 Mt TM im TREND-, SUST- und GLOB-Szenario und 13,112 Mt im MAX-Szenario) wurde so der Treibstoffverbrauch der Forstwirtschaft abgeschätzt.

Tabelle 41. Treibstoffeinsatz pro Hektar [ha] für Ackerbau und Grünlandbewirtschaftung

	1995 [MJ Diesel pro ha]	TREND [MJ Diesel pro ha]	MAX [MJ Diesel pro ha]	SUST [MJ Diesel pro ha]	GLOB [MJ Diesel pro ha]
Brotgetreide	5.036	5.036	5.036	5.036	5.820
Futtergetreide	5.119	5.164	5.164	5.164	5.556
Körnermais	5.714	5.800	5.800	5.800	6.078
Silomais	8.762	8.895	8.895	8.895	9.556
Körnerfrüchte	8.762	8.895	8.895	8.895	9.556
Kartoffel	12.277	12.868	12.868	12.868	12.939
Zuckerrübe	14.769	16.322	16.322	16.322	16.421
Raps	5.393	5.520	5.642	5.520	5.642
Sonnenblume	5.999	5.999	5.999	5.999	5.999
Klee, Egarten	8.189	8.189	8.189	8.189	9.003
Ackerbrache			1.160*		
Ackerland2	8.043	8.248	8.257	8.248	8.734
Garten	19.273	19.273	19.273	19.273	19.697
Grünland	5.264	5.264	5.264	5.264	7.272

Quelle: eigene Berechnung

*Für die Maschinenleistung der Kurzumtriebswälder wurde ein Fünftel des Maschinenaufwandes für den Maisanbau gewählt.

5.5.3 Ergebnisse

Die Ergebnisse sind in Abbildung 26 zusammengefasst. Sie zeigt, dass der Energieeinsatz im TREND- und im SUST-Szenario im Jahr 2020 relativ ähnlich ist wie im Jahr 1995. Der Fossilenergie-Input im SUST-Szenario ist nur um ca. 1 PJ höher als der des TREND-Szenarios, dafür können aber über 25 PJ mehr Biomasse-Energie gewonnen werden. Im MAX-Szenario steigt der Energieinput wesentlich stärker an (+2,5 PJ), doch auch hier rechtfertigt der zusätzliche Energiegewinn aus Biomasse – rein energetisch gesehen – die Investition: Immerhin werden in diesem Szenario etwa 48 PJ mehr Biomasse-Energie gewonnen. Zu beachten ist allerdings, dass die Prozessenergie der RME-Synthese aus Raps nicht berücksichtigt werden konnte (s. o.). Diese Vergleiche sind daher nicht als vollständige Berechnung des Energy Return on Investment (EROI) zu sehen, sondern sollen lediglich erste Hinweise auf energetische Aspekte der verschiedenen Szenarien geben.

Am niedrigsten ist der Energieeinsatz im GLOB-Szenario, was sich daraus erklärt, dass der Energieeinsatz weniger stark von der Intensität der Landnutzung abhängt, als von der bewirtschafteten Fläche. Bei der Interpretation dieses Ergebnisses ist allerdings zu berücksichtigen, dass es zu einer Verlagerung dieses Energieeinsatzes ins Ausland kommt, vor allem in Form der beträchtlichen Fleischimporte, die in diesem Szenario zu beobachten sind (vgl. Kapitel 5.1).



Abbildung 26. Grobschätzung des Fossilenergieeinsatzes in der Land- und Forstwirtschaft in den vier Szenarien im Jahr 2020. Die Unterschiede zwischen den Szenarien sind aussagekräftiger als die Absolutwerte, da nicht alle Komponenten des Fossilenergieinputs berücksichtigt werden konnten.

Quelle: Eigene Berechnungen.

Abbildung 27 zeigt, dass die größten Unterschiede beim Energieeinsatz im Ackerland auftreten, während der Energieeinsatz in den anderen Landnutzungs-Kategorien in allen Szenarien ähnlich ist.

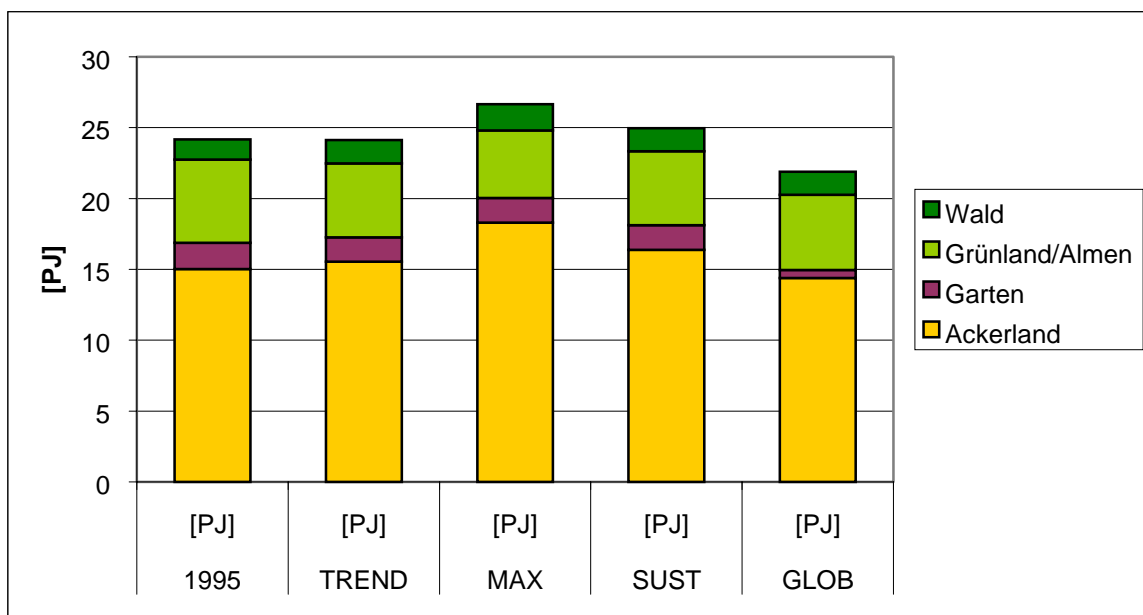


Abbildung 27. Fossilenergieaufwand 1995 und in den vier Szenarien im Jahr 2020 getrennt nach Ackerland, Grünland, Gartenland und Wald.

Quelle: Eigene Berechnungen.

Abbildung 28 zeigt die Verteilung des Treibstoff-Aufwandes auf die Landnutzungskategorien und Kulturarten. Sie zeigt, dass der Raps im MAX-Szenario beim Treibstoff-Aufwand bei weitem nicht so dominant ist wie beim Stickstoffinput (vgl. Kapitel 5.4.3. Ergebnis).

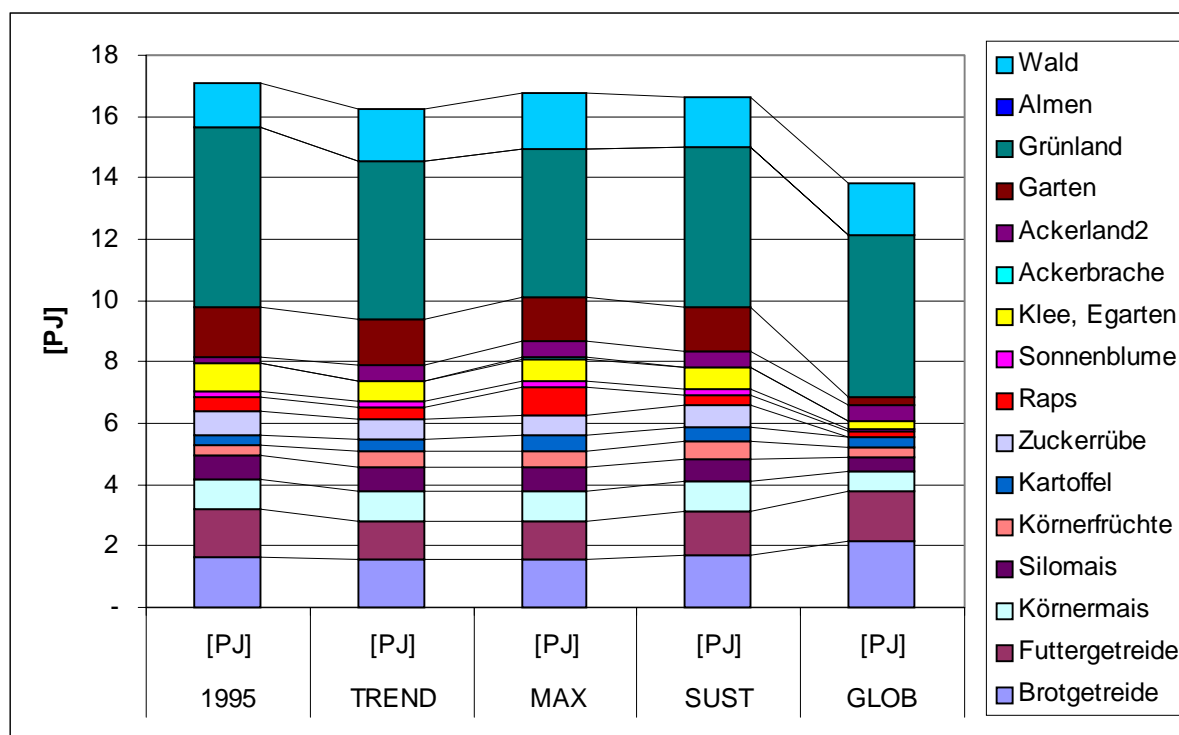


Abbildung 28. Treibstoffaufwand nach Landnutzungskategorien und Kulturarten.

Quelle: Eigene Berechnungen.

5.6 Schlussfolgerungen aus der Indikator-Analyse

Die Analyse der Szenarien mit Hilfe der von uns erhobenen Indikatoren führt zu den folgenden Schlussfolgerungen:

1. Eine Strategie zur Ausweitung der Biomassennutzung, die vor allem auf eine Steigerung der Primärenergieentnahme von Biomasse abzielt – wie sie im MAX-Szenario modelliert wurde – ist mit negativen Umwelteffekten verbunden. Ein Beispiel dafür ist der erheblich höhere Input an mineralischem Stickstoffdünger und der höhere landwirtschaftliche Energieaufwand.
2. Die HANPP steigt im MAX-Szenario gegenüber dem TREND- und dem SUST-Szenario beträchtlich (um ca. 10%) an. Die genauen ökologischen Auswirkungen dieses Umstandes sind auf Grund des dafür nicht ausreichenden Forschungsstandes nicht anzugeben. Es gibt jedoch Hinweise darauf, dass dieser Umstand negative Auswirkungen auf die Biodiversität haben könnte. Für diese Interpretation spricht auch der starke Rückgang der Grünlandflächen, die eine hohe Biodiversität aufweisen.
3. Die Frage, ob die positiven Umwelteffekte des MAX-Szenarios durch die von ihm ausgehenden Umweltentlastungseffekte gegenüber dem TREND-Szenario aufgewogen werden – etwa durch Einsparung von CO₂ und anderen Emissionen auf Grund des Ersatzes fossiler Energieträger – wäre im Detail zu thematisieren und erfordert Bilanzierungen, die über den im Rahmen dieses Projekts möglichen Aufwand hinausgehen.
4. Die Ausweitung der Biomassennutzung im MAX-Szenario gegenüber dem TREND- bzw. SUST-Szenario führt zu einer erheblichen Verminderung der CO₂-Senkenfunktion der oberirdischen Vegetation. Vollständige Bilanzen, die auch das unterirdische Kompartiment erfassen, wären wünschenswert. Es erscheint wahrscheinlich, dass diese zum Ergebnis einer noch stärkeren Verminderung der CO₂-Senkenfunktion der Vegetation im MAX-Szenario kommen würden. Der CO₂-Effekt ist jedenfalls so groß, dass das SUST-Szenario aus Sicht des CO₂-Nettoeffekts

gegenüber dem MAX-Szenario zu bevorzugen ist, weil die zusätzliche Einsparung von CO₂ auf Grund der höheren Biomasseverfügbarkeit (und der damit verbundenen Möglichkeit, mehr Fossilenergie zu substituieren) im MAX- gegenüber dem SUST-Szenario keinesfalls den negativen Effekt auf die CO₂-Senkenfunktion der Vegetation aufwiegen kann. Für einen Vergleich von MAX- und TREND-Szenario wäre jedenfalls eine Berücksichtigung der unterirdischen Prozesse nötig, um entscheiden zu können, welches der beiden Szenarien in bezug auf den Netto-CO₂-Effekt günstiger ist.

5. Ein positiver Effekt des MAX-Szenarios ist in der Verminderung der Netto-„Flächenimporte“ durch den Import landwirtschaftlicher Produkte zu sehen, der sich vor allem aus den Nebenprodukten des Rapsanbaus (Rapsextraktionsschrote) erklärt, die importierte Eiweißfuttermittel ersetzen. Eine Verminderung der inländischen Fleischproduktion und des Fleischkonsums könnte allerdings wahrscheinlich einen ähnlichen Effekt erzielen.
6. Das GLOB-Szenario unterscheidet sich also vor allem im Hinblick auf die klassische Funktion der Landwirtschaft – der Deckung der Bedarfs an Nahrungsmitteln – deutlich von den anderen Szenarien. Im GLOB-Szenario kommt es zu einer deutlichen Ausweitung des Netto-„Flächenimports“ durch den Import landwirtschaftlicher Produkte. Dafür sind die auf die Fläche Österreichs bezogenen Indikatoren – HANPP, Kohlenstoff-Senkenfunktion der Vegetation, Energieeinsatz – deutlich günstiger als im TREND- und im SUST-Szenario. Im Hinblick auf die C-Senke bräuchte eine Berücksichtigung der Veränderungen in den unterirdischen C-Beständen allerdings wahrscheinlich ein deutlich ungünstigeres Ergebnis, weil im Grasland besonders viel unterirdischer Kohlenstoff gespeichert ist. Inwieweit die „Verbesserungen“ im GLOB-Szenario gegenüber den anderen Szenarien nur durch die Verlagerungstendenz ins Ausland zu erklären sind, müsste durch weitere Analysen geklärt werden. Hinsichtlich des Stickstoff-Aufwandes ergeben sich trotz der Verringerung landwirtschaftlich genutzter Flächen im GLOB-Szenario keine Verbesserungen gegenüber dem TREND- und dem SUST-Szenario, weil die Bewirtschaftungsintensität auf den verbleibenden Ackerflächen deutlich höher ist.

Literatur

- Alber, S. 1992. *Technikbewertung erneuerbarer Rohstoffe*. Österreichische Akademie der Wissenschaften, Forschungsstelle für Technikbewertung, Wien.
- Anonymous 1997. *Österreichs Landwirtschaft im EU-Agrarsystem*. Österreichischer Agrarverlag, Klosterneuburg.
- Ayres, R.U. und U.E. Simonis 1994. *Industrial Metabolism, Restructuring for Sustainable Development*. United Nations University Press, Tokyo, New York, Paris.
- Bayerische Akademie der Wissenschaften 1994. *Nachwachsende Rohstoffe, Rundfunkgespräch am 18. und 19. April 1994 in München*. Bayerische Akademie der Wissenschaften, Kommission für Ökologie, Pfeil Verlag, München.
- Bittermann, W. 1999. Energiebilanzen 1993-1997. *Statistische Nachrichten* 54(7), 567-578.
- Bittermann, W. 2000. Energiebilanzen 1993-1998. *Statistische Nachrichten* 55(4), 306-312.
- Bittermann, W. und S. Gerhold 1995. Wirtschaftliche Aspekte und Holzbilanz. In: *Ökobilanz Wald Österreich, Ausgabe 1995*. ÖSTAT and FBVA (Hg.), Österreichisches Statistisches Zentralamt (ÖSTAT), Forstliche Bundesversuchsanstalt (FBVA), Wien, 99-110.
- BMLF 1998a. 40. *Grüner Bericht, Bericht über die Lage der Österreichischen Landwirtschaft 1998*. Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft (BMLF), Wien.
- BMLF 1998b. *Nachwachsende Rohstoffe in Österreich, Die Rolle nachwachsender Rohstoffe in Österreichs Land- und Forstwirtschaft*. Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft (BMLF), Wien.
- BMLF 2000a. 41. *Grüner Bericht, Bericht über die Lage der österreichischen Landwirtschaft 1999*. Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, <http://www.bmlf.gv.at>, Wien.
- BMLF 2000b. *Standarddeckungsbeiträge und Daten für die Betriebsberatung 1999/2000/2001, Ausgaben für West- und Ostösterreich*. Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Riegelnik, Wien.
- BMLFUW 2001. *ÖPUL 2000, Sonderrichtlinie für das Österreichische Programm zur Förderung einer umweltgerechten, extensiven und den natürlichen Lebensraum schützenden Landwirtschaft, Anhang 2, Düngetabellen gemäß Grundförderung*. Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft, Zl. 25.014/37-II/B8/00, Sektion II, Landwirtschaft, Wien.
- Bork, H.R., C. Dalchow, H. Kächele, H.P. Piorr, K.O. Wenkel 1995. *Agrarlandschaftswandel in Nordost-Deutschland unter veränderten Rahmenbedingungen: ökologische und ökonomische Konsequenzen*. Ernst & Sohn, Münchenberg.
- Bundesministerium für Ernährung, L.u.F. 1992. *Statistisches Jahrbuch über Ernährung, Landwirtschaft und Forsten in der Bundesrepublik Deutschland*. Landwirtschaftsverlag, Münster-Hiltrup.
- Büchsenmeister, R., E. Hauk, K. Schieler 1999. *Österreichische Waldinventur 1992-1996*. Forstliche Bundesversuchsanstalt, Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Vienna.
- Cannell, M.G.R. 1982. *World Forest Biomass and Primary Production Data*. Academic Press, London.
- Darge, E. 2001. *Humanökologische Untersuchungen zum Fluss von Energie am Beispiel der Landwirtschaft*. Diplomarbeit an der Universität Oldenburg, Wien, Oldenburg.
- De La Torre Ugarte, D.G. und D.E. Ray 2000. Biomass and bioenergy applications of the POLYSYS modeling framework. *Biomass and Bioenergy* 18, 291-308.
- Dissemond, H. und A. Zauchinger 1994. *Strohaufkommen in Österreich. Erhebung und Analyse des Überschufkommens und seiner Eignung für eine energetische Nutzung*. Bundesministerium für Wissenschaft und Verkehr, Berichte aus Energie- und Umweltforschung 3/94, Wien.
- E.V.A. 1997. *Energiefluß Österreich 1995*. Austrian Energy Agency ("Energieverwertungsagentur", E.V.A.), Vienna.
- Erb, K.H. 1999. *Die Beeinflussung des oberirdischen Standing Crop und Turnover in Österreich durch die menschliche Gesellschaft*. Diplomarbeit an der Universität Wien, Institut für Pflanzenphysiologie, Wien.
- Europäische Kommission 1997. *Getreide, Ölsaaten und Eiweißpflanzen, Lage und Ausblick, GAP 2000 Arbeitspapier*. Generaldirektion Landwirtschaft (GD VI), http://europa.eu.int/comm/agriculture/rur/countries/au/index_de.htm.
- Europäische Kommission 2000. *Programme zur Entwicklung des ländlichen Raums 2000-2006, Österreich - horizontales Programm*. Generaldirektion Landwirtschaft (GD VI), http://europa.eu.int/comm/agriculture/rur/countries/au/index_de.htm.
- European Commission 2000a. *Agenda 2000 CAP Reform Decisions, Impact Analyses*. Directorate-General for Agriculture (GD VI), http://europa.eu.int/comm/agriculture/rur/countries/au/index_de.htm.

ROLAND
Themenheft "Biomasseinsatz und Landnutzung"

- European Commission 2000b. *The CAP Reform, A Policy of the Future, Fact Sheet*. Directorate-General for Agriculture (GD VI), http://europa.eu.int/comm/agriculture/rur/countries/au/index_de.htm.
- FBVA 1998. *Holzaufkommen Österreich 1997 bis 2016*. Forstliche Bundesversuchsanstalt, Waldforschung / Univ. für Bodenkultur, Die Sägeindustrie, Wirtschaftskammer Österreich, Wien.
- Fischer-Kowalski, M., H. Haberl, W. Hüttler, H. Payer, H. Schandl, V. Winiwarer, H. Zangerl-Weisz 1997. *Gesellschaftlicher Stoffwechsel und Kolonisierung von Natur, Ein Versuch in Sozialer Ökologie*. Gordon+Breach Fakultas, Amsterdam.
- Geissler, S., H. Gupfinger, H. Haberl, T. Jorde 1998. *Grundlagen für die Erstellung von Biomassebewirtschaftungskonzepten auf der Basis einer Nutzungsoptimierung*. Studie des Österreichischen Ökologie-Institutes im Auftrag des Bundesministeriums für Wissenschaft und Verkehr, Wien.
- Gerhold, S. 1992. Stoffstromrechnung, Holzbilanz 1955 bis 1991. *Statistische Nachrichten* 47(8), 651-656.
- Giampietro, M., S. Ulgiati, D. Pimentel 1997. Feasibility of Large-Scale Biofuel Production. *BioScience* 47(9), 587-600.
- Graef, M., G. Vellgutz, J. Krahl, A. Munack 1994. Fuel From Sugar Beet and Rape Seed Oil - Mass and Energy Balances for Evaluation. In: *Biomass for Energy, Environment, Agriculture and Industry*. P. Chartier, A.A.C.M. Beenackers, G. Grassi (Hg.), Elsevier, Oxford, 1159-1164.
- Graham, R.L., B.C. English, C.E. Noon 2000. A Geographic Information System-based modeling system for evaluating the cost of delivered energy crop feedstock. *Biomass and Bioenergy* 18, 309-329.
- Greif, F. 1998. Das Ende der traditionellen Agrarwirtschaft - und was weiter? Ein Statusreport zum sogenannten "Agrarbereich". *Mitteilungen der Österreichischen Geographischen Gesellschaft* 140, 25-52.
- Haas, G. und U. Köpke 1994. *Vergleich der Klimarelevanz ökologischer und konventioneller Landbewirtschaftung*. Enquete-Kommission "Schutz der Erdatmosphäre" des Deutschen Bundestages, Studienprogramm Band 1, Landwirtschaft, Teilband 2, Studie H, Economica Verlag, Bonn.
- Haas, R., M. Berger, L. Kranzl 2001. *Strategie zur weiteren Forcierung erneuerbarer Energieträger in Österreich unter besonderer Berücksichtigung des EU-Weißbuches für erneuerbare Energien und der Campaign for Take-off*. Technische Universität Wien, Institut für Energiewirtschaft, Studie im Auftrag von BMWA und BMLFUW, Wien.
- Haberl, H. 1997. Human Appropriation of Net Primary Production as An Environmental Indicator: Implications for Sustainable Development. *Ambio* 26(3), 143-146.
- Haberl, H. 1995. *Menschliche Eingriffe in den natürlichen Energiefluß von Ökosystemen*. IFF-Social Ecology Papers No. 43, Vienna.
- Haberl, H. 2001. The Energetic Metabolism of Societies, Part I: Accounting Concepts. *Journal of Industrial Ecology* 5(1), in print.
- Haberl, H., C. Amann, W. Bittermann, K.H. Erb, M. Fischer-Kowalski, S. Geissler, W. Hüttler, F. Krausmann, H. Payer, H. Schandl, S. Schidler, N. Schulz, H. Weisz, V. Winiwarer 2001a. *Die Kolonisierung der Landschaft, Indikatoren für nachhaltige Landnutzung*. Schriftenreihe Forschungsschwerpunkt Kulturlandschaft Nr. 8, Bundesministerium für Bildung, Wissenschaft und Kultur, Wien.
- Haberl, H., S.P.J. Batterbury, E.F. Moran 2001b. Using and shaping the land: a long-term perspective. *Land Use Policy* 18(1), 1-8.
- Haberl, H., K.H. Erb, F. Krausmann, W. Loibl, N. Schulz, H. Weisz 2001c. Changes in Ecosystem Processes Induced by Land Use: Human Appropriation of Net Primary Production and Its Influence on Standing Crop in Austria. *Global Biogeochemical Cycles* In press
- Haberl, H. und S. Geissler 2000. Cascade utilization of biomass, How to cope with ecological limits to biomass use. *Ecological Engineering* 16, 111-121.
- Hall, C.A.S., C.J. Cleveland, R.K. Kaufmann 1986. *Energy and Resource Quality, The Ecology of the Economic Process*. Wiley-Interscience, New York.
- Harmon, M.E., W.K. Ferrell, J.F. Franklin 1990. Effects on Carbon Storage of Conversion of Old-Growth Forests to Young Forests. *Science* 247, 699-702.
- Harmon, M.E., J.F. Franklin, F.J. Swanson, P. Sollins, S.V. Gregory, J.D. Lattin, N.H. Anderson, S.P. Cline, N.G. Aumen, J.R. Sedell, G.W. Lienkaemper, K. Cromack, K.W. Cummins 1986. Ecology of coarse woody debris in temperate ecosystems. *Advances in Ecological Research* 15, 133-302.
- Harris, J.M. und S. Kennedy 1999. Carrying capacity in agriculture: global and regional issues. *Ecological Economics* 29, 443-461.
- Hofreither, M. 1995. *Österreichs Landwirtschaft. Situation und Optionen zur Jahrtausendwende*. Facultas Universitätsverlag, Wien.
- Hohenecker, J. 1980. *Ernährungswirtschaftsplanung für Krisenzeiten in Österreich, 4. Teilbericht, Futtermittelbilanzen für Österreich*. Universität für Bodenkultur, Wien.
- Houghton, R.A. 1995. Land-use change and the carbon cycle. *Global Change Biology* 1, 275-287.

ROLAND
Themenheft "Biomasseinsatz und Landnutzung"

- INARO 2000. *Rohstoffe: Stärke, pflanzliche Öle und Fette, Öle, Biomasse/Biogas*. Informationssystem Nachhaltende Rohstoffe (INARO), <http://www.inaro.de>,
- Jungmeier, G., L. Canella, J. Spitzer, R. Stiglbrunner 1999. *Treibhausgasbilanzen der Bioenergie, Vergleich der Treibhausgasemissionen aus Bioenergie-Systemen und fossilen Energiesystemen*. Joanneum Research, Institut für Energieforschung, Graz.
- Katter, R., H. Mackwitz, M. Narodoslawsky 1999. *Nachwachsende Rohstoffe*. Joanneum Research, Bundesministerium für Wissenschaft und Verkehr, Wien, Graz.
- Kjer, I., M. Zehr, U. Zerger, F. Kaspar 1994. *Landwirtschaft und Ernährung, Teil A: Quantitative Analysen und Fallstudien*. Enquete-Kommission "Schutz der Erdatmosphäre" des Deutschen Bundestages, Studienprogramm Band 1, Landwirtschaft, Teilband 2, Studie J, Economica Verlag, Bonn.
- Klass, D.C. 1998. *Biomass for Renewable Energy, Fuels and Chemicals*. Academic Press, San Diego.
- Knoflacher, H.M., P. Tuschl, W. Schneeberger 1991. *Ökonomische und ökologische Bewertung von alternativen Treibstoffen*. Austrian Research Centers Seibersdorf, Research Report OEFZS-A--2095, Seibersdorf.
- Kommission der Europäischen Gemeinschaften 1997. *Energie für die Zukunft: Erneuerbare Energieträger, Weißbuch für eine Gemeinschaftsstrategie und Aktionsplan*. Kommission der Europäischen Gemeinschaften, Luxemburg.
- Kratena, K. und S. Schleicher 2001. *Energieprognose und -Szenarien bis 2020*. Österreichisches Institut für Wirtschaftsforschung (WIFO), Wien.
- Krausmann, F. 2000. *Rekonstruktion der Entwicklung von Materialflüssen im Zuge der Industrialisierung: Veränderungen im sozioökonomischen Biomassenmetabolismus in Österreich von 1830 bis 1998*. Schriftenreihe "Der europäische Sonderweg", Breuninger-Stiftung, Band 3, Stuttgart.
- Krausmann, F. 2001. Land Use and Industrial Modernization, An empirical analysis of human influence on the functioning of ecosystems in Austria 1830-1995. *Land Use Policy* 18(1), 17-26.
- Krausmann, F. und H. Haberl 2001. The Process of Industrialization From an Energetic Metabolism Point of View, Socio-Economic Energy Flows in Austria 1830-1995. *Ecological Economics* in print
- Latesteijn, H.C.v. 1998. Future Land Use in Europe. In: *Agriculture and Sustainable Land Use in Europe*. E.M. Barron and I. Nielsen (Hg.), Kluwer Law International, Nijhoff Law Specials, Vol. 38, The Hague, 101-116.
- Lieth, H. 1975. Modeling the Primary Production of the World. In: *Primary Production of the Biosphere*. H. Lieth and R.H. Whittaker (Hg.), Springer, Berlin, Heidelberg, New York, 237-263.
- Lütke Entrup, N. 1986. Kulturpflanzen und Fruchtfolgegestaltung. In: *Pflanzenproduktion, Band 2: Produktionstechnik*. J. Oehmichen (Hg.), Parey, Berlin, 21-44.
- MacDonald, D., J.R. Crabtree, G. Wiesinger, T. Dax, N. Stamou, P. Fleury, J. Gutierrez Lazpita, A. Gibon 2000. Agricultural abandonment in mountain areas of Europe: Environmental consequences and policy response. *Journal of Environmental Management* 59, 47-69.
- Mitchell, C.P. 2000. Development of decision support systems for bioenergy applications. *Biomass and Bioenergy* 18, 265-278.
- Netherlands Scientific Council for Government Policy 1992. *Ground for Choices, Four perspectives for the rural areas in the European Community*. Netherlands Scientific Council for Government Policy, Reports to the Government No. 42, The Hague.
- Neubarth, J., K. Mairitsch, H. Hofbauer, M. Kaltschmitt 2000. Biomasse. In: *Erneuerbare Energien in Österreich*. J. Neubarth and M. Kaltschmitt (Hg.), Springer, Wien, New York, 257-406.
- ÖSTAT 1996. *Statistisches Jahrbuch für die Republik Österreich 1996*. Österreichische Staatsdruckerei, Wien.
- ÖSTAT 1997. *Agrarstrukturerhebung 1995. Gesamtergebnisse über die Land- und Forstwirtschaft*. Österreichische Staatsdruckerei, Wien.
- Österreichische Gesellschaft für kritische Geographie (ÖGKG) 1999. *Landwirtschaft und Agrarpolitik in den 90iger Jahren*. ProMedia, Wien.
- Österreichischer Biomasse-Verband 2000a. *Basisdaten Bioenergie Österreich 2000*. Österreichischer Biomasse-Verband (Austrian Biomass Association), Vienna.
- Österreichischer Biomasse-Verband 2000b. *Mit Bioenergie in das neue Jahrhundert, Puchberger Erklärung*. Österreichischer Biomasse-Verband (Austrian Biomass Association), Vienna.
- Penz, H. 1996. Die Landwirtschaft in den österreichischen Alpen. In: *Landwirtschaft im Alpenraum - unverzichtbar aber zukunftslos? Eine alpenweite Bilanz der aktuellen Probleme und der möglichen Lösungen*. W. Bätzing (Hg.), Blackwell Wissenschafts-Verlag, Berlin, Wien, 141-167.
- Penz, H. 1997. Die Stellung der Landwirtschaft im Modernisierungsprozess Österreichs nach dem Zweiten Weltkrieg. *Mitteilungen der Österreichischen Geographischen Gesellschaft* 139, 77-100.
- Petz, K.C. 2001. Vergleichende Abschätzung des Flächenverbrauchs in Österreich. In: *Versiegelt Österreich? Der Flächenverbrauch und seine Eignung als Indikator für Umweltbeeinträchtigungen*. Umweltbundesamt (Hg.), Tagungsunterlage des Umweltbundesamtes, Wien, 5-9.

ROLAND
Themenheft "Biomasseinsatz und Landnutzung"

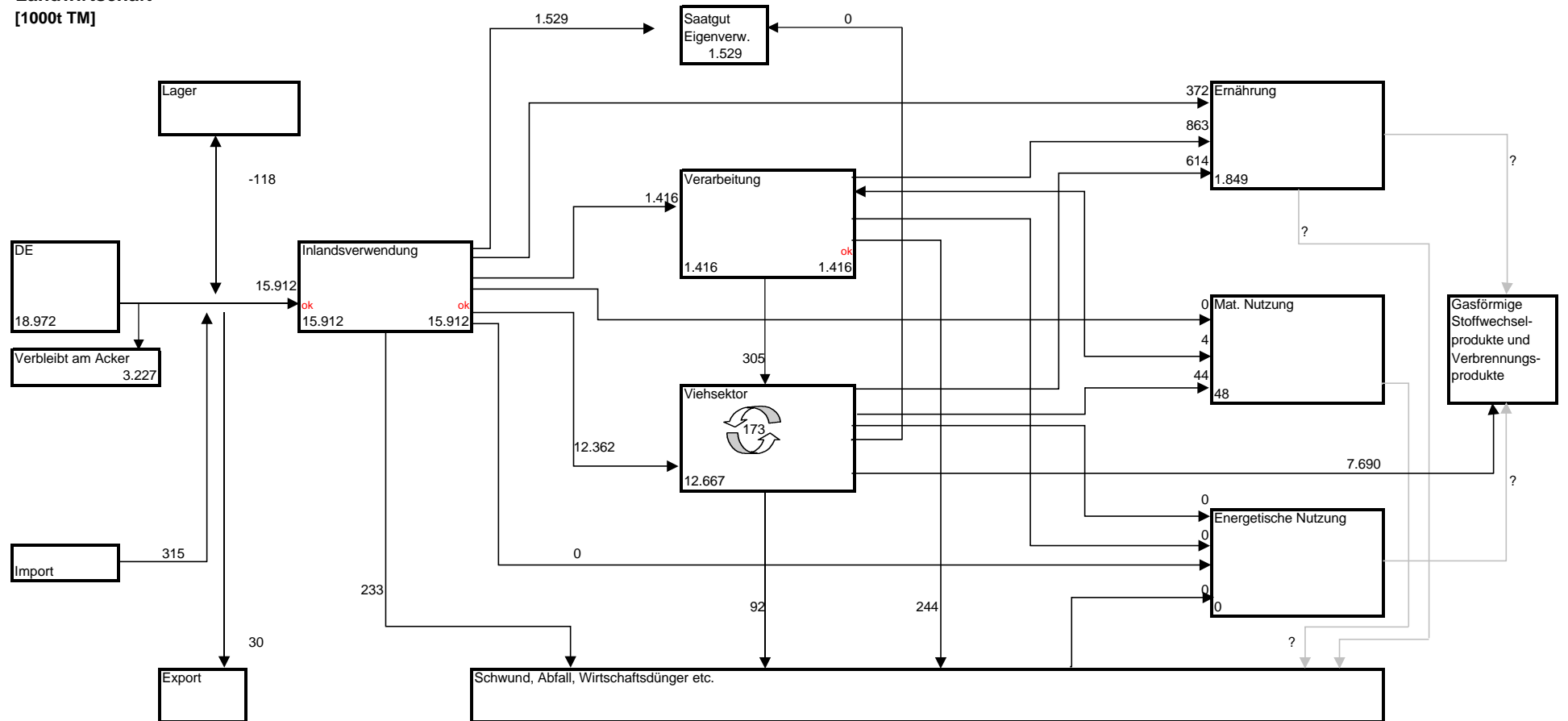
- Pimentel, D., W. Dazhong, M. Giampietro 1990. Technological Changes in Energy Use in U.S. Agricultural Production. In: *Agroecology, Researching the Ecological Basis for Sustainable Agriculture*. S.R. Gliessmann (Hg.), Springer, New York, 305-321.
- Präsidentenkonferenz der Landwirtschaftskammern 1997. *Zahlen '96*. Präsidentenkonferenz der Landwirtschaftskammern, Wien.
- Pretterhofer, H. 1999. *Strategische Positionierung forstlicher Zusammenschlüsse in Österreich*. Vortragsmanuskript, Kooperationsabkommen Forst-Platte-Papier, <http://www.fpp.at>.
- Prieler, S., A.P. Leskó, S. Anderberg 1998. *Three Scenarios for Land-Use Change: A Case Study in Central Europe*. International Institute for Applied Systems Analysis (IIASA), RR-98-3, Laxenburg, Austria.
- Reinhardt, G.A. 1993. *Energie- und CO₂-Bilanzierung Nachwachsender Rohstoffe*. Vieweg, Braunschweig, Wiesbaden.
- Roos, A. und C. Rakos 2000. The limits of modelling. Experiences with bioenergy in practice - could models have predicted this outcome? *Biomass and Bioenergy* 18, 331-340.
- Schieler, K., R. Büchsenmacher, K. Schadaner 1996. *Österreichische Forstinventur, Ergebnisse 1986/90*. Forstliche Bundesversuchsanstalt, Waldforschungszentrum, Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Wien.
- Schmidt, A., T. Linsmeyer, M. Mayerhofer, M. Brandstätter, O. Janotta, K. Krenn 1994. *Branchenkonzept Holz*. Schriftenreihe des Bundesministeriums für Umwelt, Jugend und Familie, Wien.
- Schneider, F. und M. Hofreither 1988. *Chance Landwirtschaft: Wege und Perspektiven für die neunziger Jahre*. Agrarverlag, Wien.
- Schneider, M. 2000a. Folgen der EU-Osterweiterung für die Landwirtschaft. *Agrarische Rundschau* 3/2000, 38-43.
- Schneider, M. 2000b. Folgen der EU-Osterweiterung für die österreichische Landwirtschaft. *WIFO-Monatsberichte* 73(9), 559-574.
- Schulz, N. 1999a. *Auswirkungen von Landnutzung auf Ökosystemprozesse: Die menschliche Aneignung von Nettoprimärproduktion in Österreich, vergleichende Berechnung anhand verschiedener Datenquellen*. Masters thesis, University of Vienna, Wien.
- Schulz, Niels. Auswirkungen von Landnutzung auf Ökosystemprozesse: Vergleichende Berechnung der menschlichen Aneignung von Nettoprimärproduktion in Österreich anhand verschiedener Datenquellen. 1999b. Universität Wien. 8-9-1999b.
Ref Type: Thesis/Dissertation
- Sharp, D.D., H. Lieth, D. Wigham 1975. Assessment of Regional Productivity in North Carolina. In: *Primary Productivity of the Biosphere*. H. Lieth and R.H. Whittaker (Hg.), Springer, Berlin, 131-146.
- Sharpe, D.M. 1975. Methods for Assessing the Primary Produktivity of Regions. In: *Primary Productivity of the Biosphere*. H. Lieth and R.H. Whittaker (Hg.), Springer, Berlin, 147-166.
- Sperber, J., R. Bairisich, E. Edinger, W. Weigl 1988. *Öl- und Eiweißpflanzen*. Österreichischer Agrarverlag, Wien.
- Stockinger, H. und I. Obernberger 1998. *Systemanalyse der Nahwärmeversorgung mit Biomasse*. dbv-Verlag, Verlag für die Technische Universität Graz, Graz.
- Vitousek, P.M., P.R. Ehrlich, A.H. Ehrlich, P.A. Matson 1986. Human Appropriation of the Products of Photosynthesis. *BioScience* 36(6), 368-373.
- Wagner, K. 1990. *Neuabgrenzung landwirtschaftlicher Produktionsgebiete in Österreich*. Bundesamt für Agrarwirtschaft, Schriftenreihe Band 60, Wien.
- Walsh, M.E. 2000. Method to estimate bioenergy crop feedback supply curves. *Biomass and Bioenergy* 18, 283-289.
- Waskow, F. 1998. *Leitfaden Nachwachsende Rohstoffe. Anbau, Verarbeitung, Produkte*. Katalyse - Institut für angewandte Umweltforschung, Müller Verlag, Heidelberg.
- Weisz, H., M. Fischer-Kowalski, C.M. Grünbühel, H. Haberl, F. Krausmann, V. Winiwarter 2001. Global Environmental Change and Historical Transitions. *Innovation - The European Journal of Social Sciences* 14(2), 117-142.
- Weisz, H., F. Krausmann, K.H. Erb, N. Schulz, H. Haberl 1999. Gesellschaftliche Beeinflussung ökosystemarer Energieflüsse und Energiebestände (NPP-Aneignung). In: *Colonizing Landscapes, Indicators for Sustainable Land Use*. H. Haberl, W. Bittermann, W. Hüttler, H. Weisz, M. Fischer-Kowalski, H. Schandl, V. Winiwarter (Hg.), IFF-Soziale Ökologie, Studie im Auftrag von BMWV und BMWA, Wien, 29-54.
- Wereko-Brobby, C. und E.B. Hagen 1996. *Biomass conversion and technology*. Wiley & Sons, Chichester.
- Wildling, E. 1997. Versorgungsbilanzen für tierische und pflanzliche Produkte 1994/95 und 1995/96. *Statistische Nachrichten* 52(10), 853-858.
- Wildling, E. 1998. Versorgungsbilanzen für pflanzliche Produkte 1996/97. *Statistische Nachrichten* 53(6), 449-451.

R O L A N D
Themenheft "Biomasseinsatz und Landnutzung"

- Wright, D.H. 1990. Human Impacts on the Energy Flow Through Natural Ecosystems, and Implications for Species Endangerment. *Ambio* 19(4), 189-194.
- WRR 1992. *Ground for choices, Four perspectives for the rural areas in the European Community*. Netherlands Scientific Council for Government Policy (WRR), Reports to the Government, No. 42, The Hague.
- Wytrzens, H.K. 1994. *Agrarplanung: Grundzüge der landwirtschaftlichen Raumplanung in Österreich*. Böhlau, Wien, Köln, Weimar.
- Zanetti, G. 1999. *Strukturwandel und Flächennutzungsänderungen in der österreichischen Land- und Forstwirtschaft*. Gutachten des österreichischen Instituts für Raumplanung, Wien.

Abbildung A1

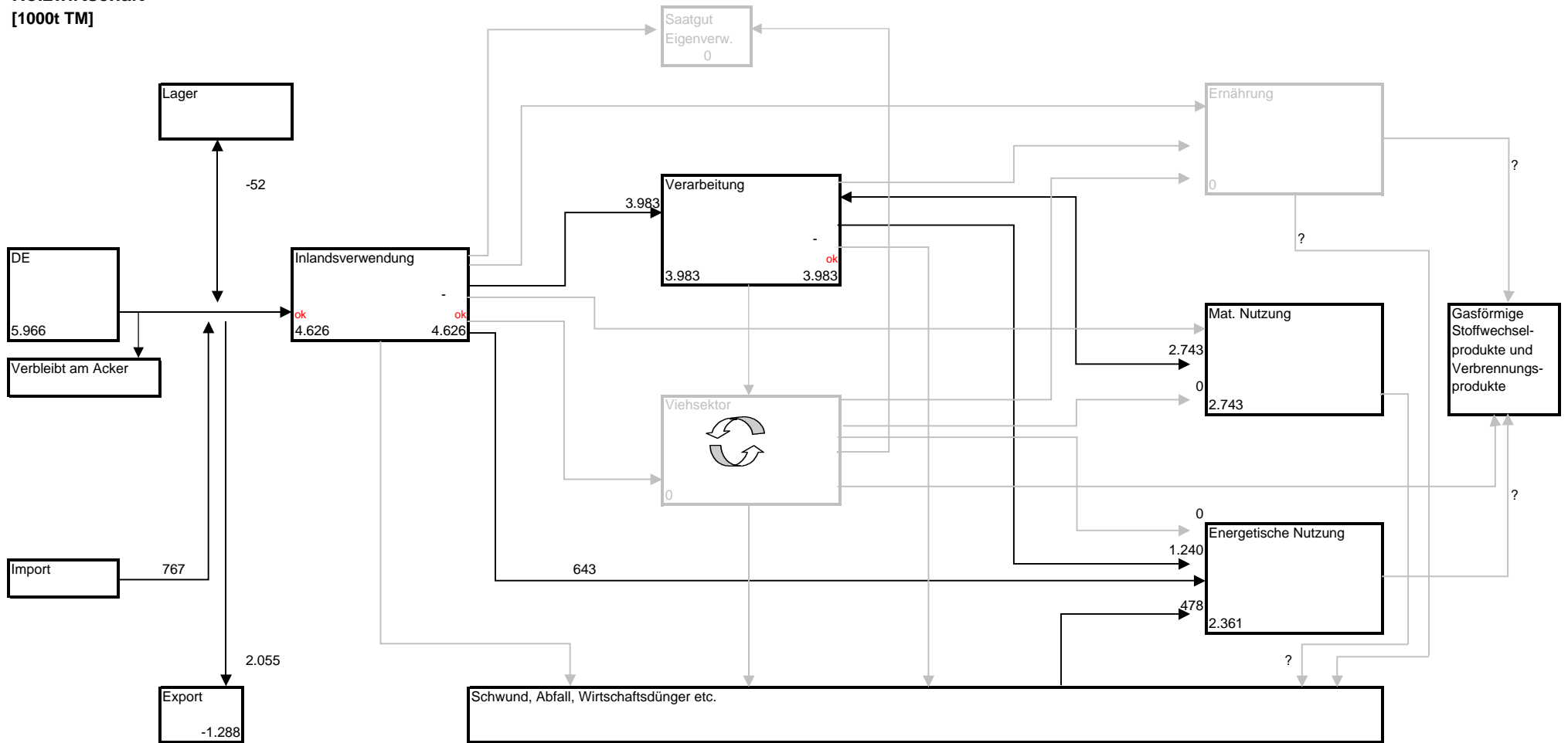
**Modell 1970
Landwirtschaft
[1000t TM]**



Quelle: ÖSTAT, eigene Berechnungen

Abbildung A2

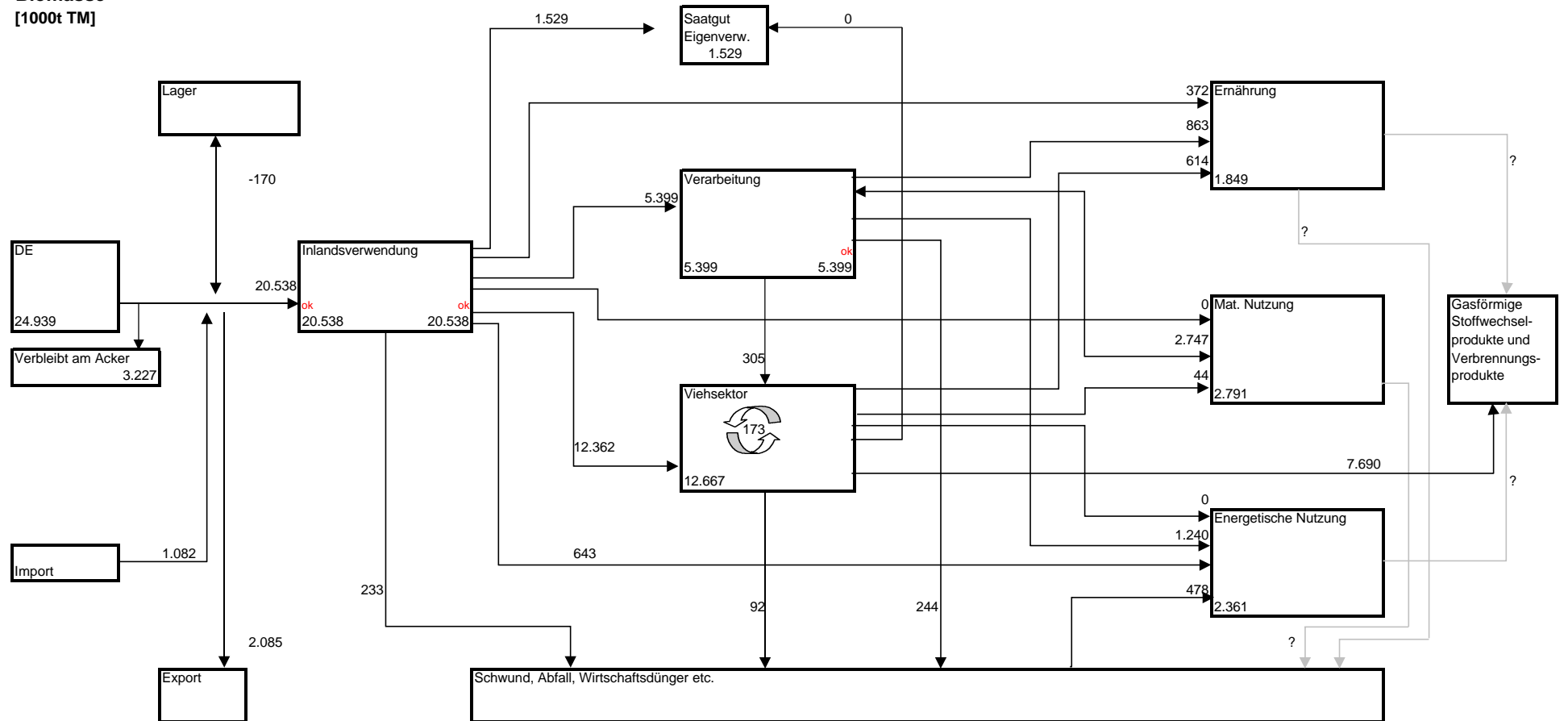
**Modell 1970
Holzwirtschaft
[1000t TM]**



Quelle: ÖSTAT Holzbilanz, ÖSTAT Außenhandelsbilanz, eigene Berechnungen

Abbildung A3

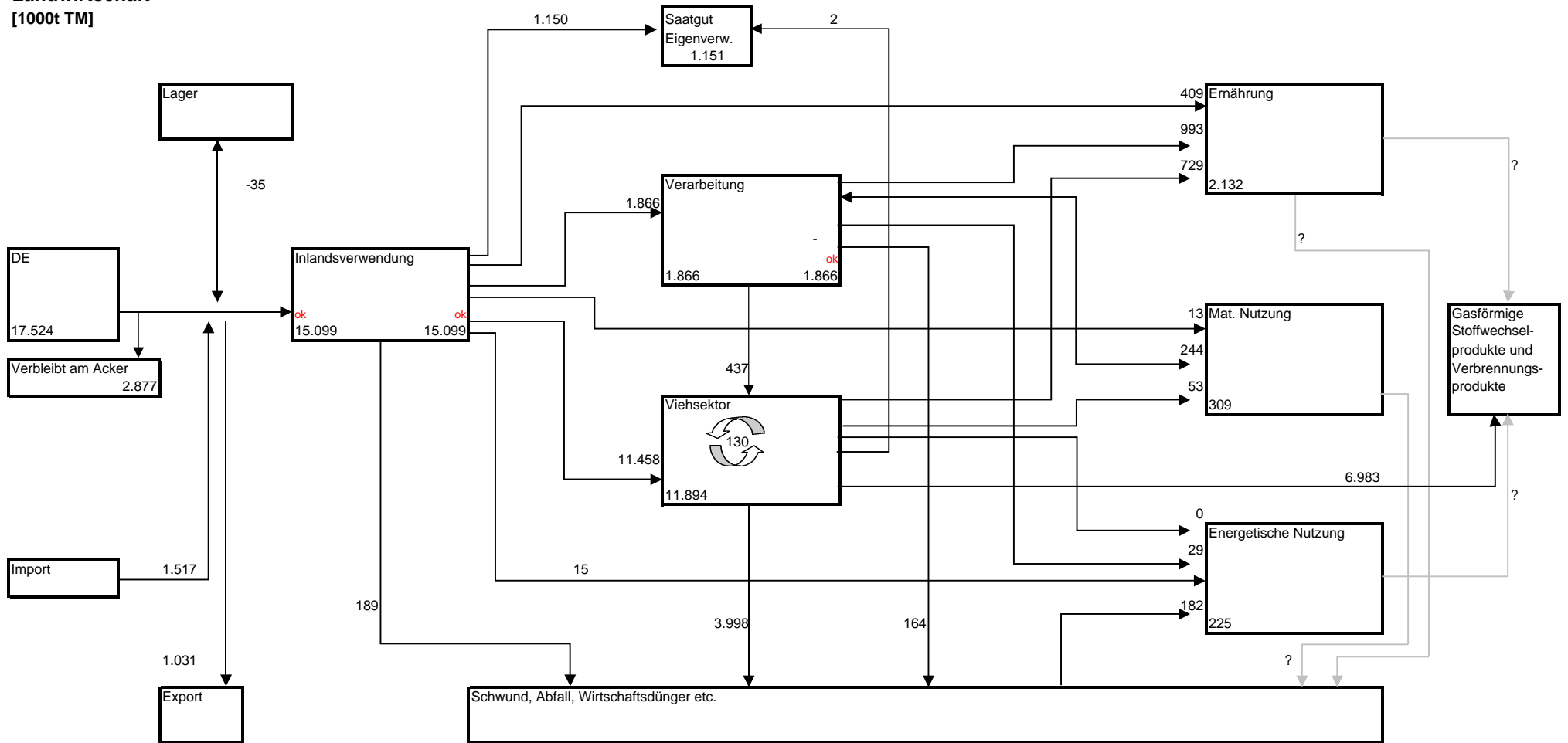
**Modell 1970
Biomasse
[1000t TM]**



Quelle: ÖSTAT, eigene Berechnungen

Abbildung A4

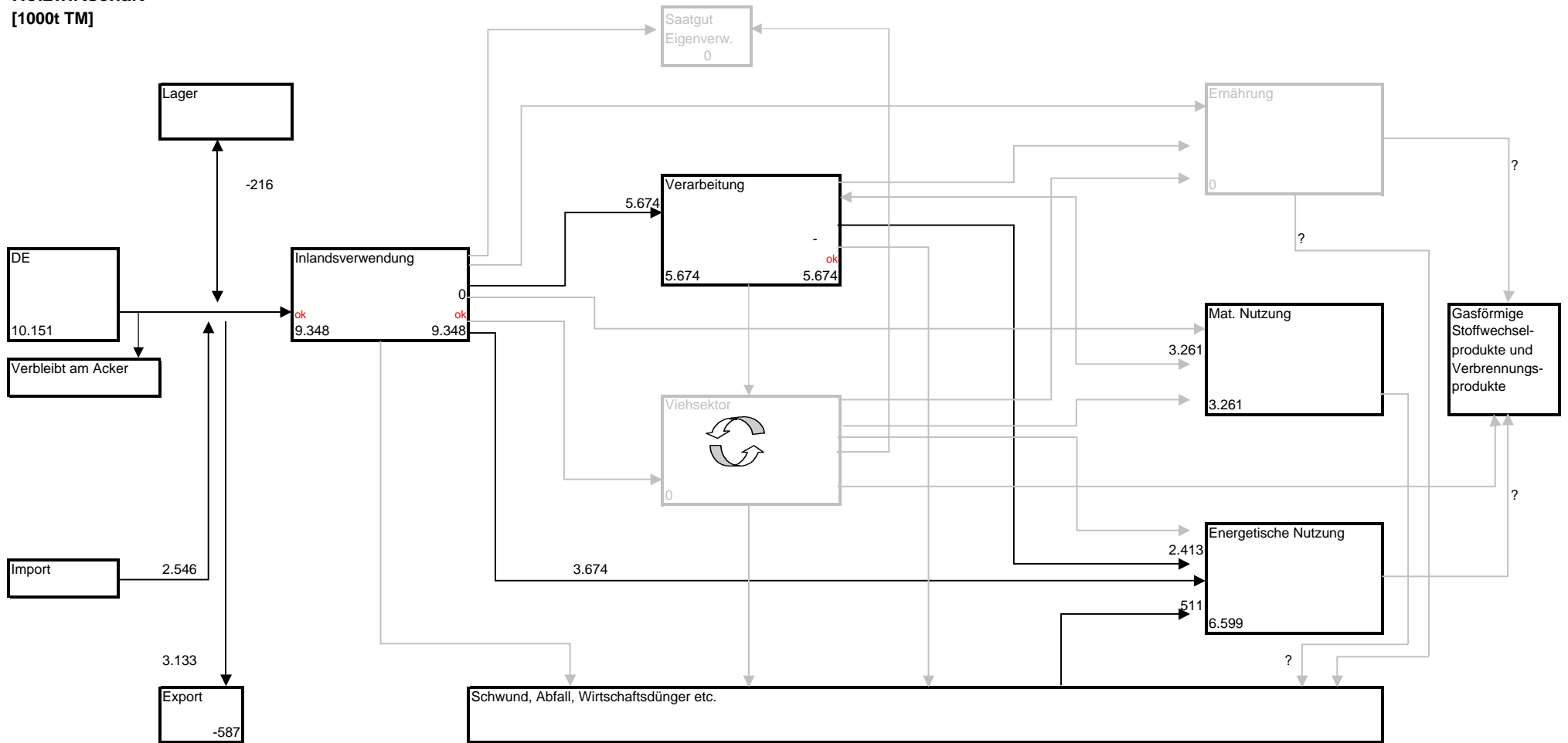
**Modell 1995
Landwirtschaft
[1000t TM]**



Quelle: ÖSTAT, eigene Berechnungen

Abbildung A5

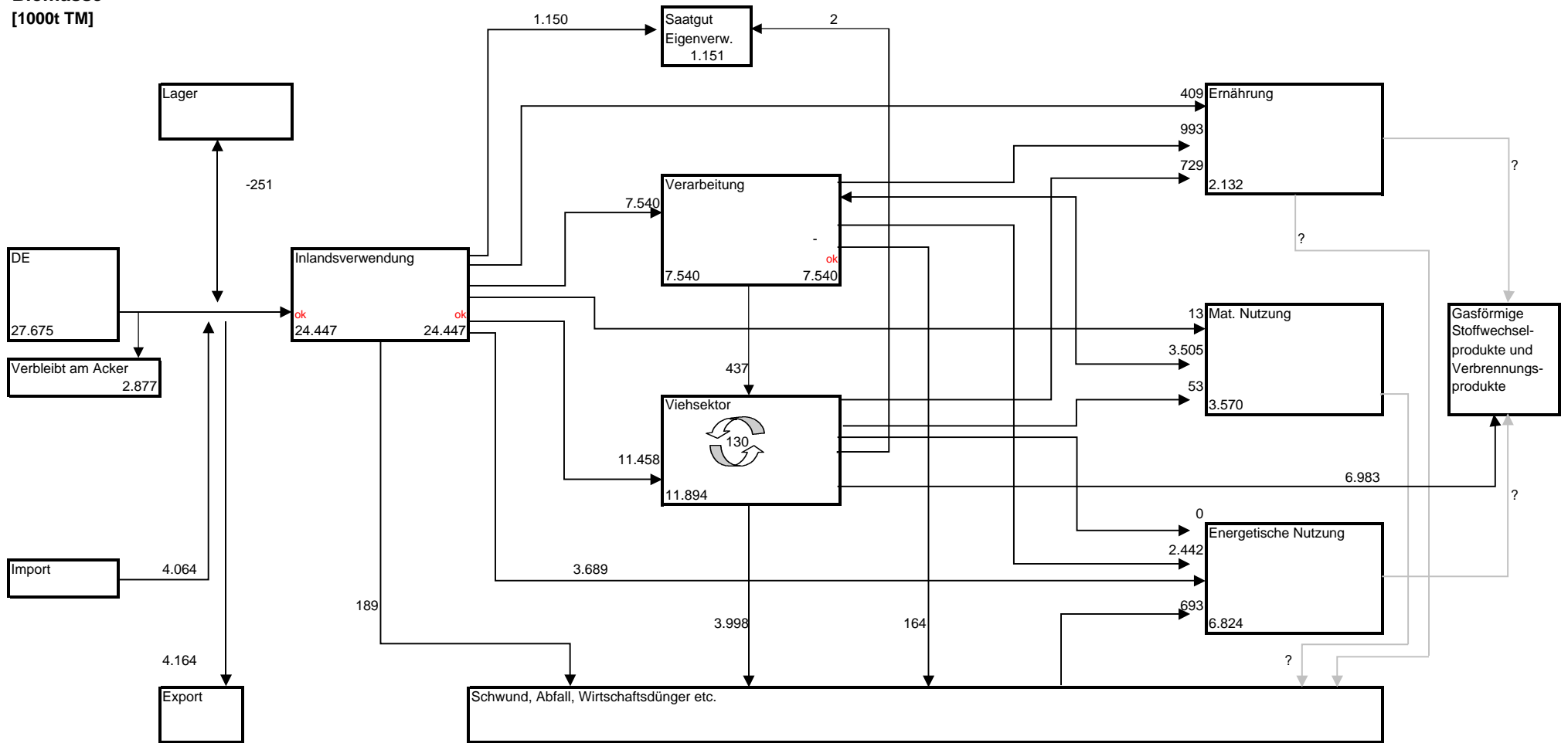
**Modell 1995
Holzwirtschaft
[1000t TM]**



Quelle: ÖSTAT Holzbilanz, ÖSTAT Außenhandelsbilanz, eigene Berechnungen

Abbildung A6

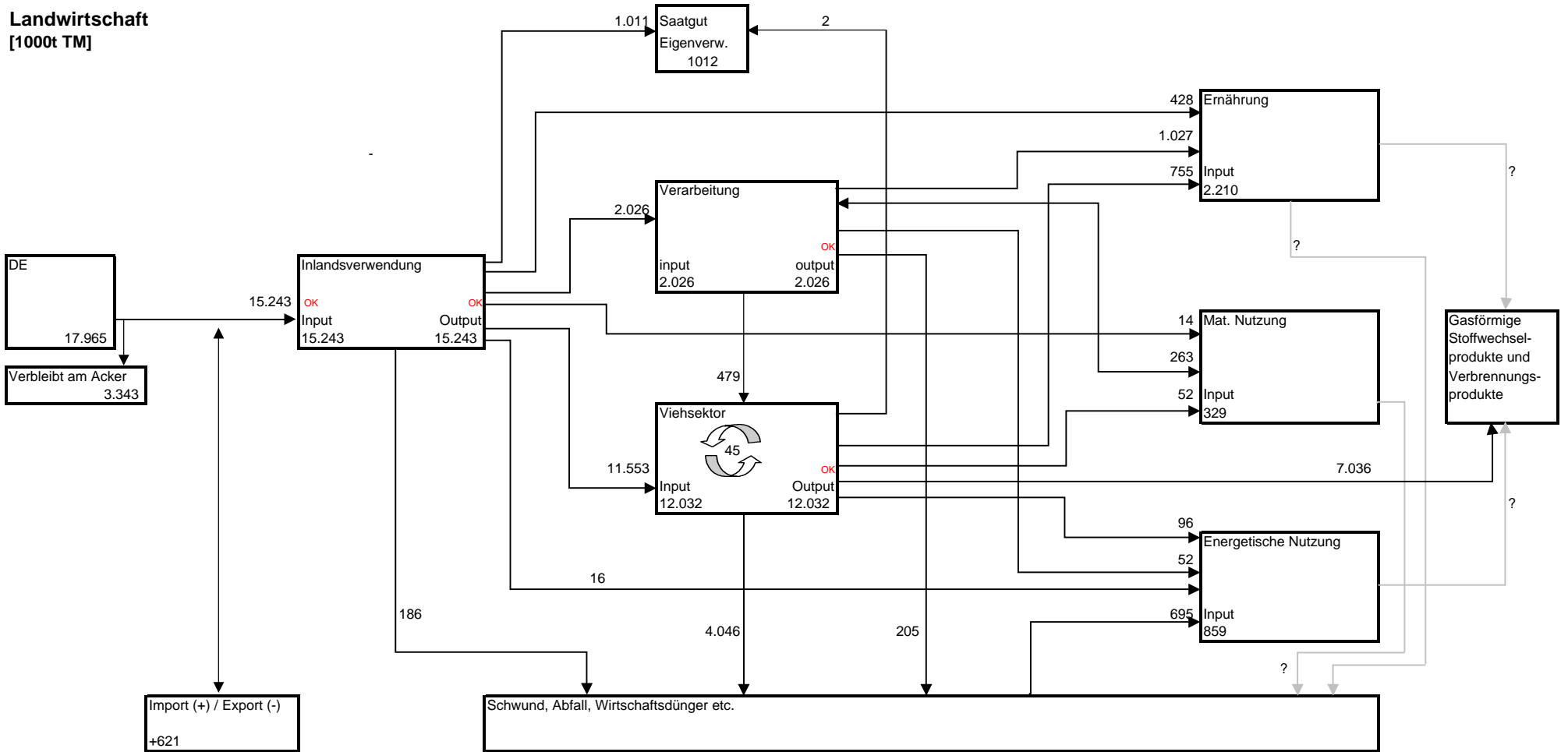
Modell 1995
Biomasse
[1000t TM]



Quelle: ÖSTAT, eigene Berechnungen

Abbildung A7

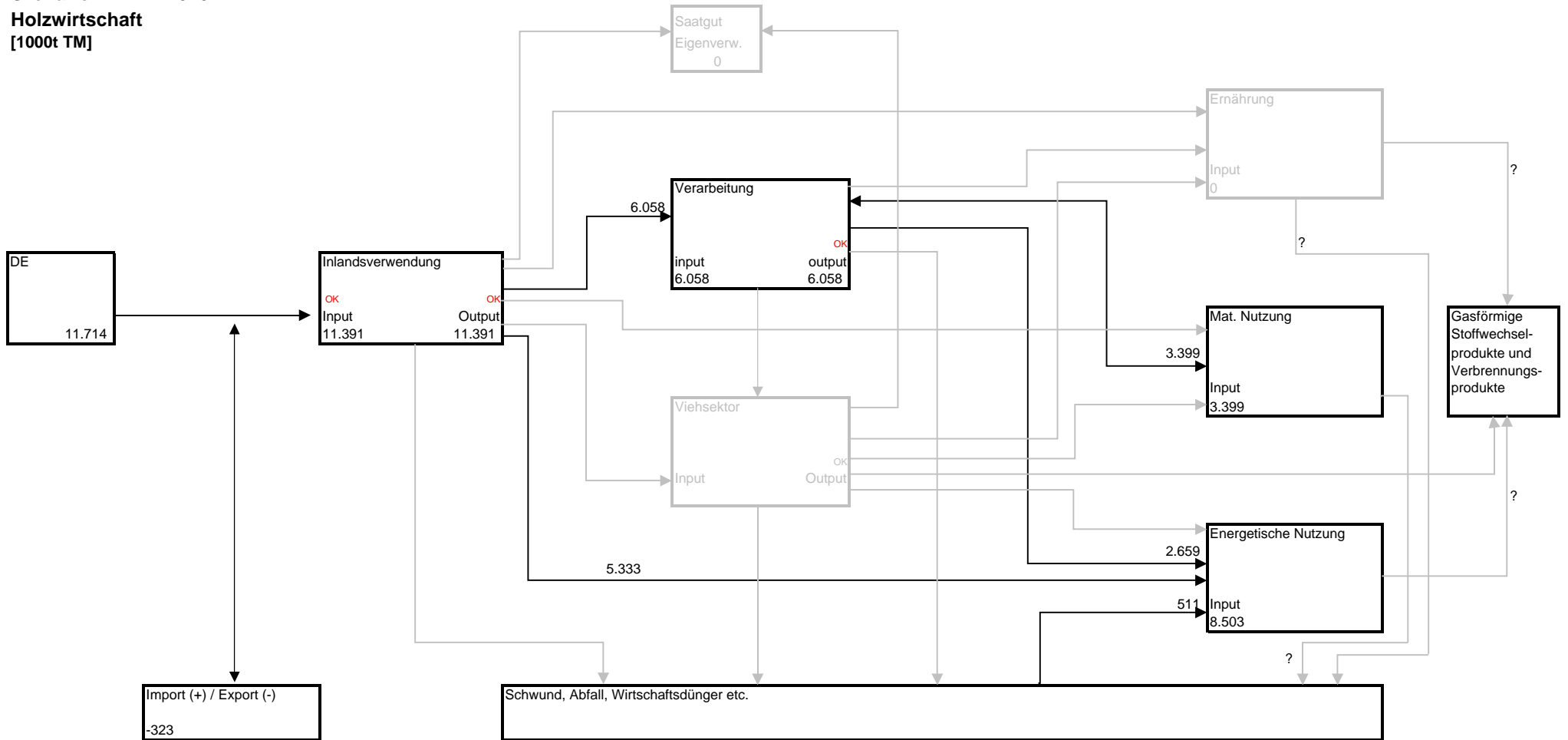
Szenario TREND 2020
Landwirtschaft
 [1000t TM]



Quelle: eigene Berechnungen

Abbildung A8

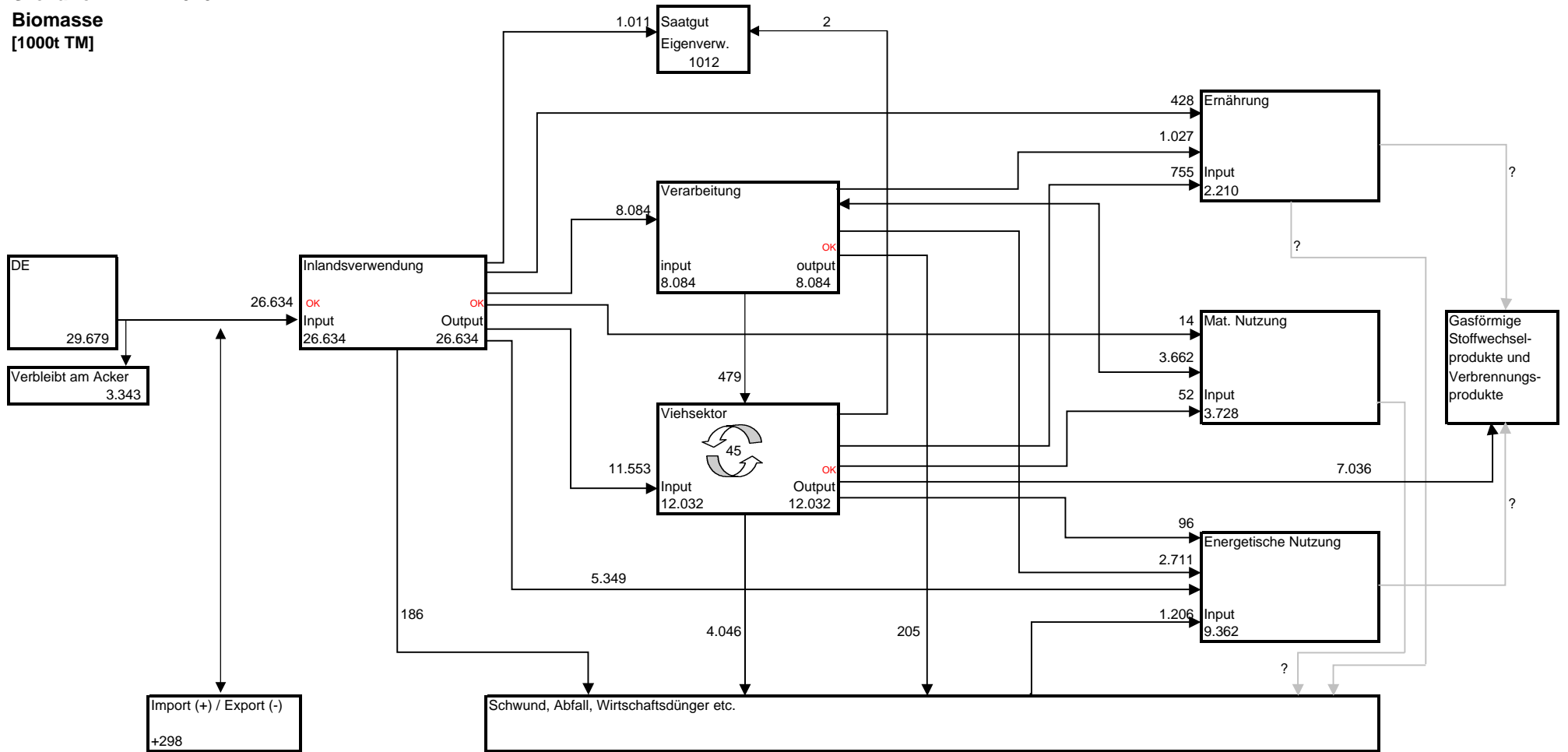
Szenario TREND 2020
Holzwirtschaft
[1000t TM]



Quelle: eigene Berechnungen

Abbildung A9

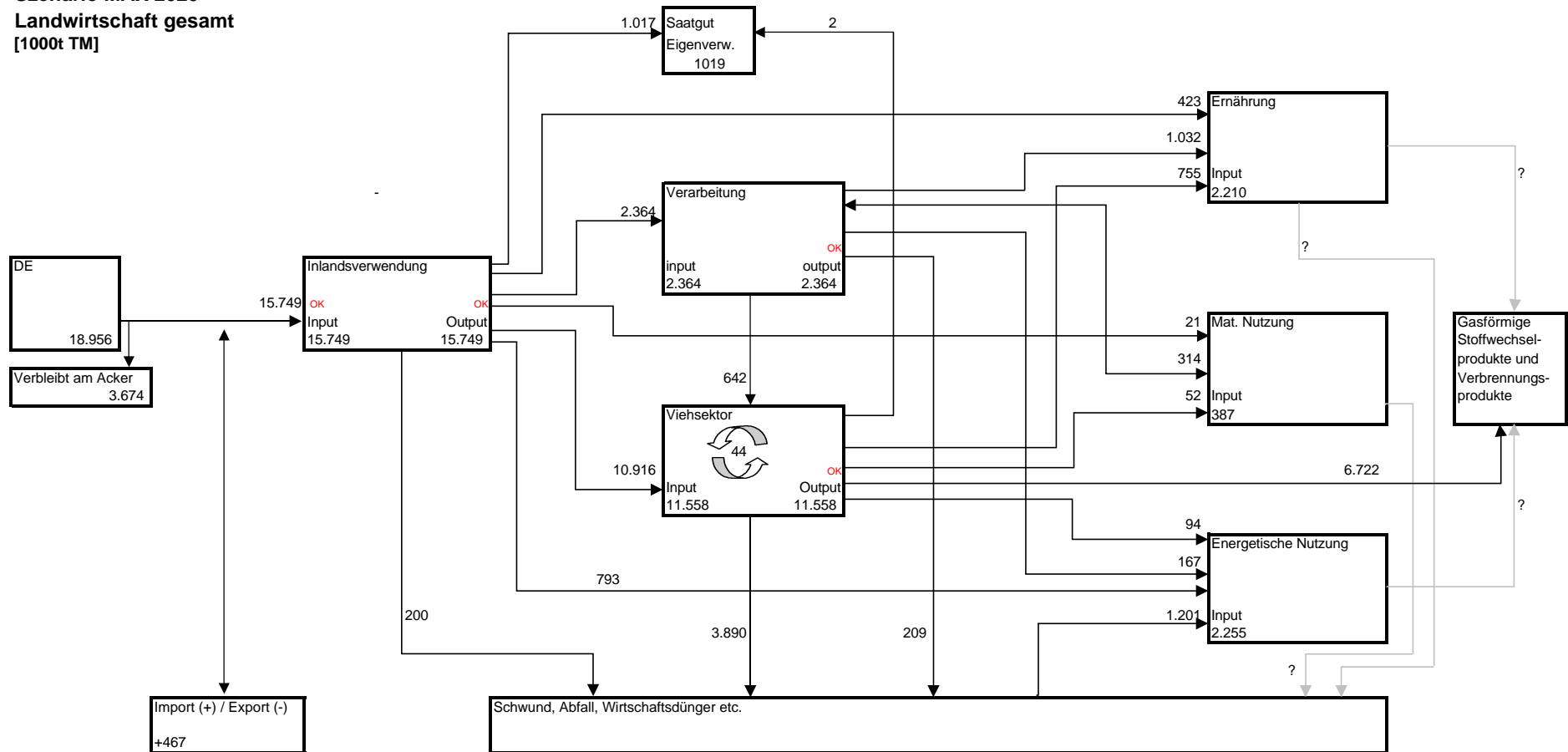
Szenario TREND 2020
Biomasse
 [1000t TM]



Quelle: eigene Berechnungen

Abbildung A10

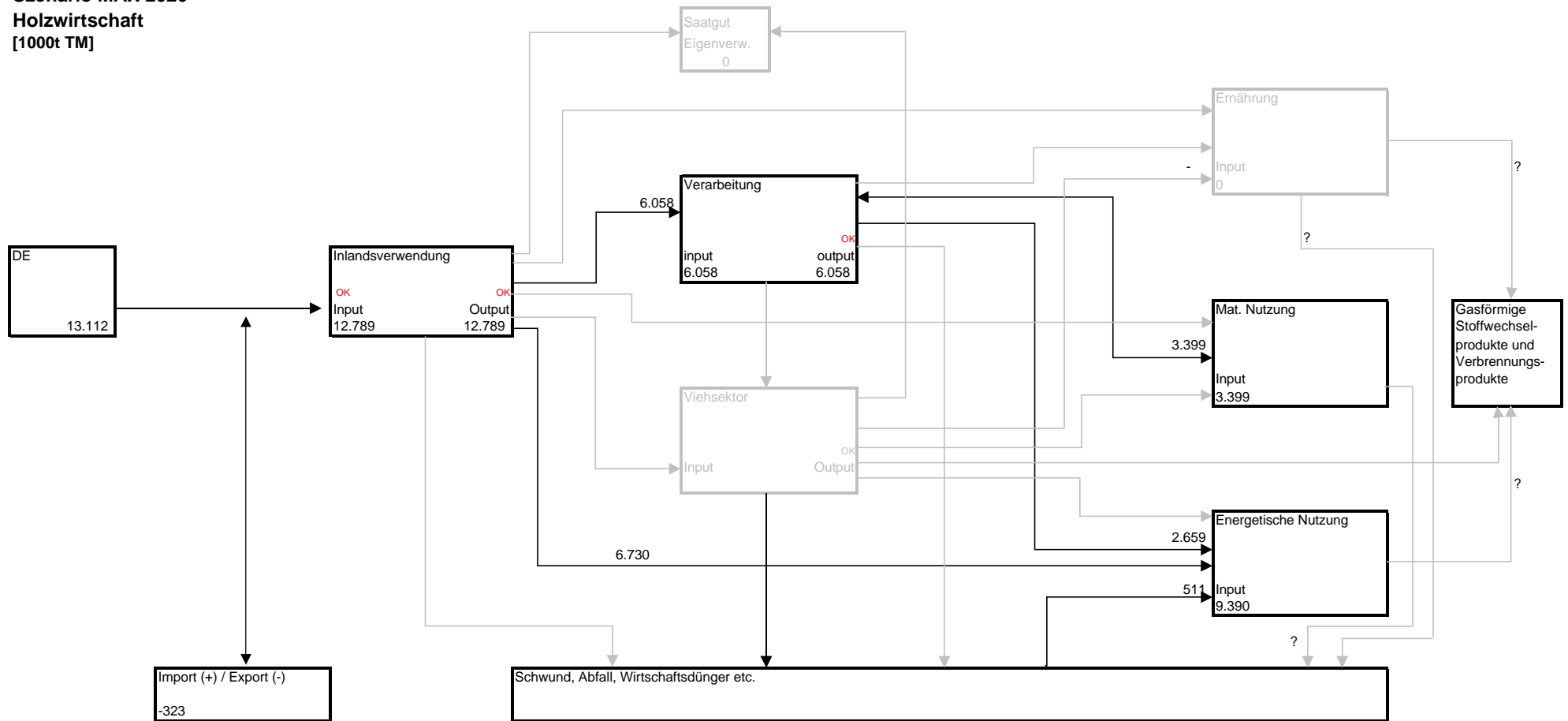
Szenario MAX 2020
Landwirtschaft gesamt
[1000t TM]



Quelle: eigene Berechnungen

Abbildung A11

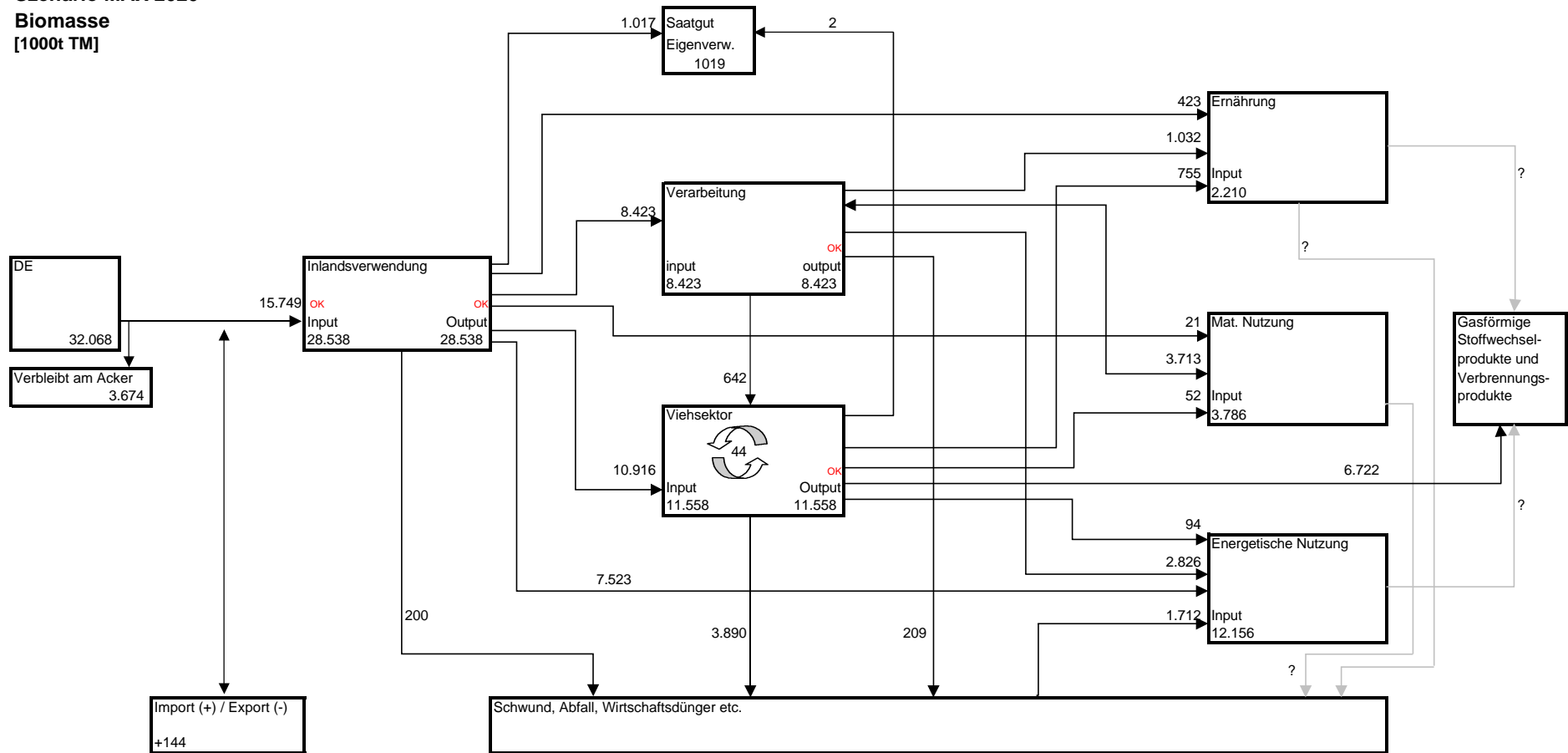
Szenario MAX 2020
Holzwirtschaft
[1000t TM]



Quelle: eigene Berechnungen

Abbildung A12

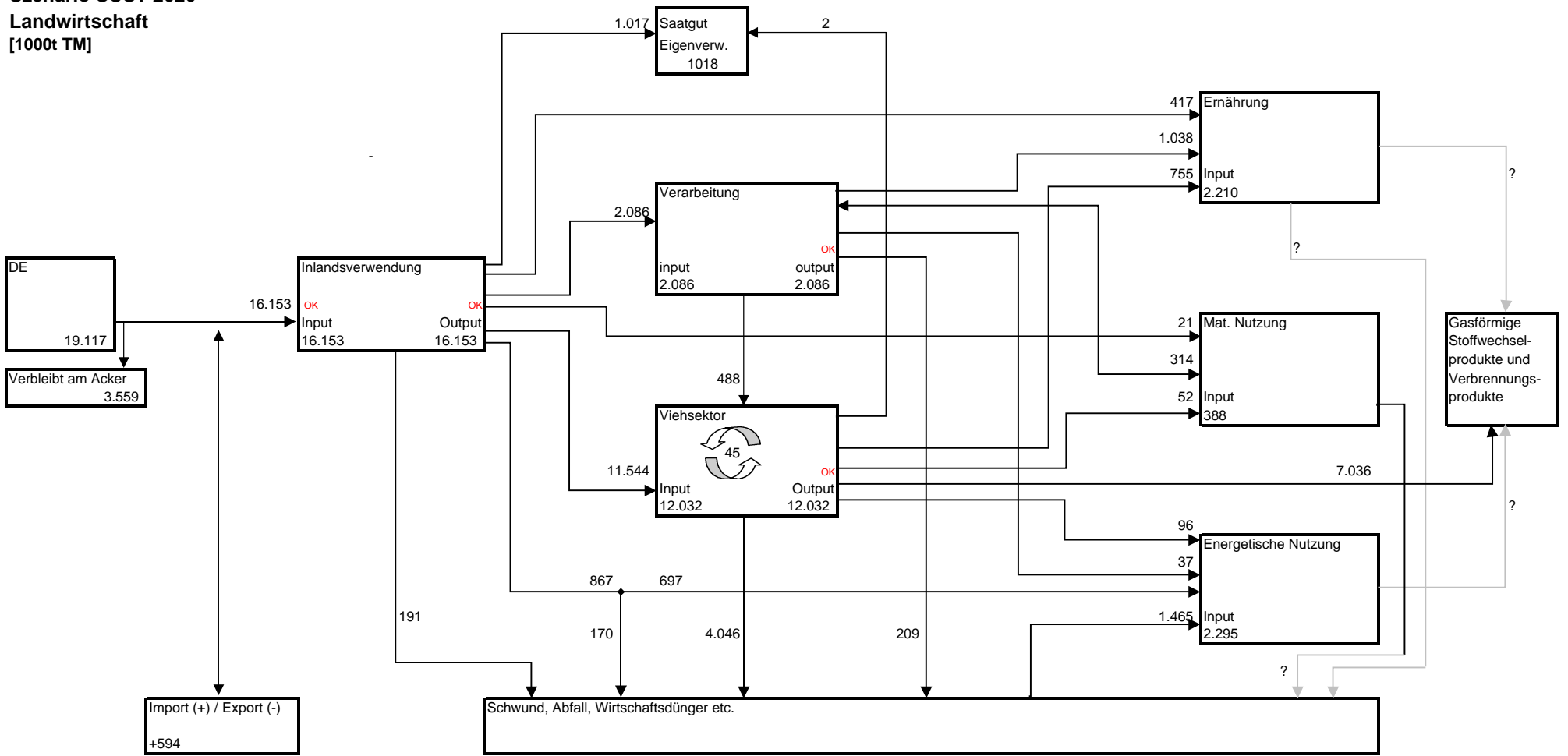
Szenario MAX 2020
Biomasse
 [1000t TM]



Quelle: eigene Berechnungen

Abbildung A13

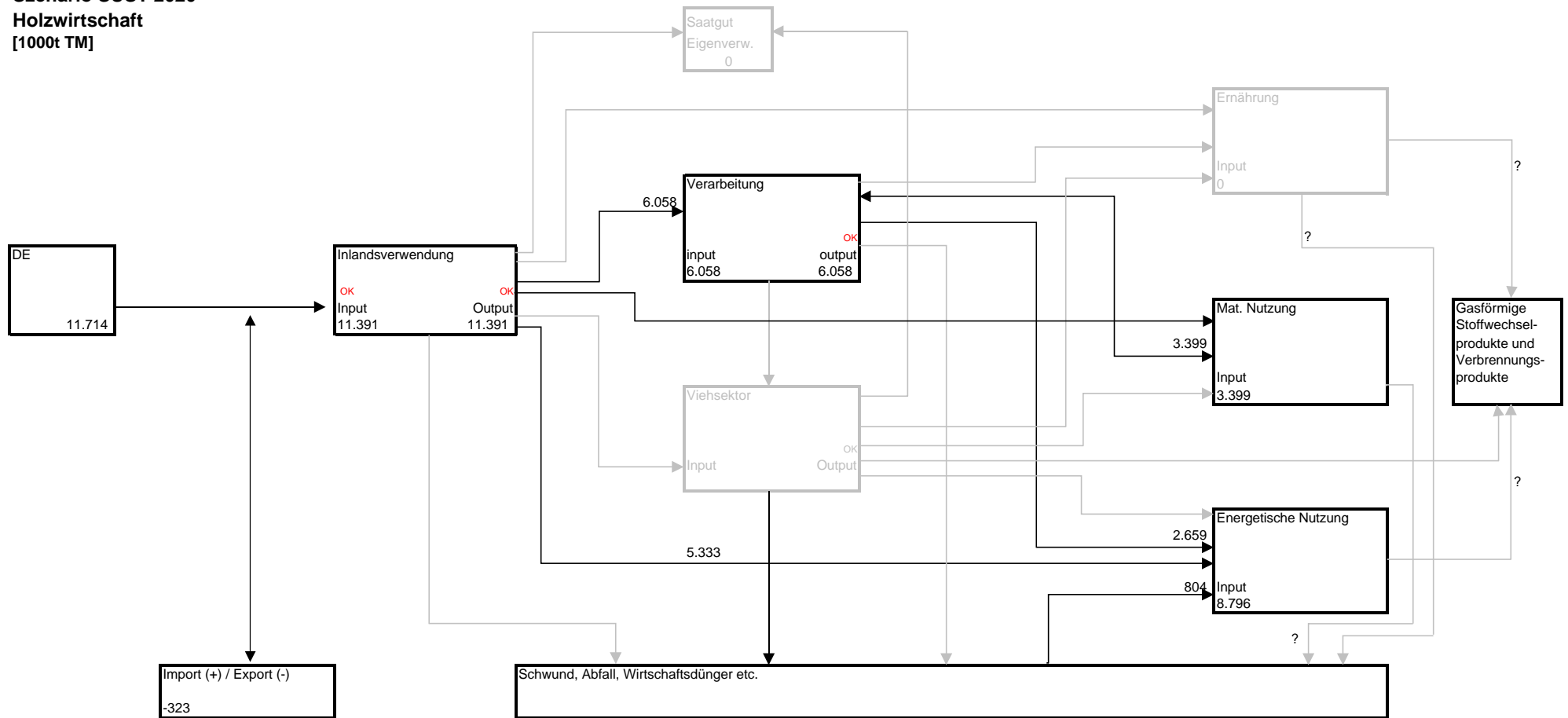
Szenario SUST 2020
Landwirtschaft
 [1000t TM]



Quelle: eigene Berechnungen

Abbildung A14

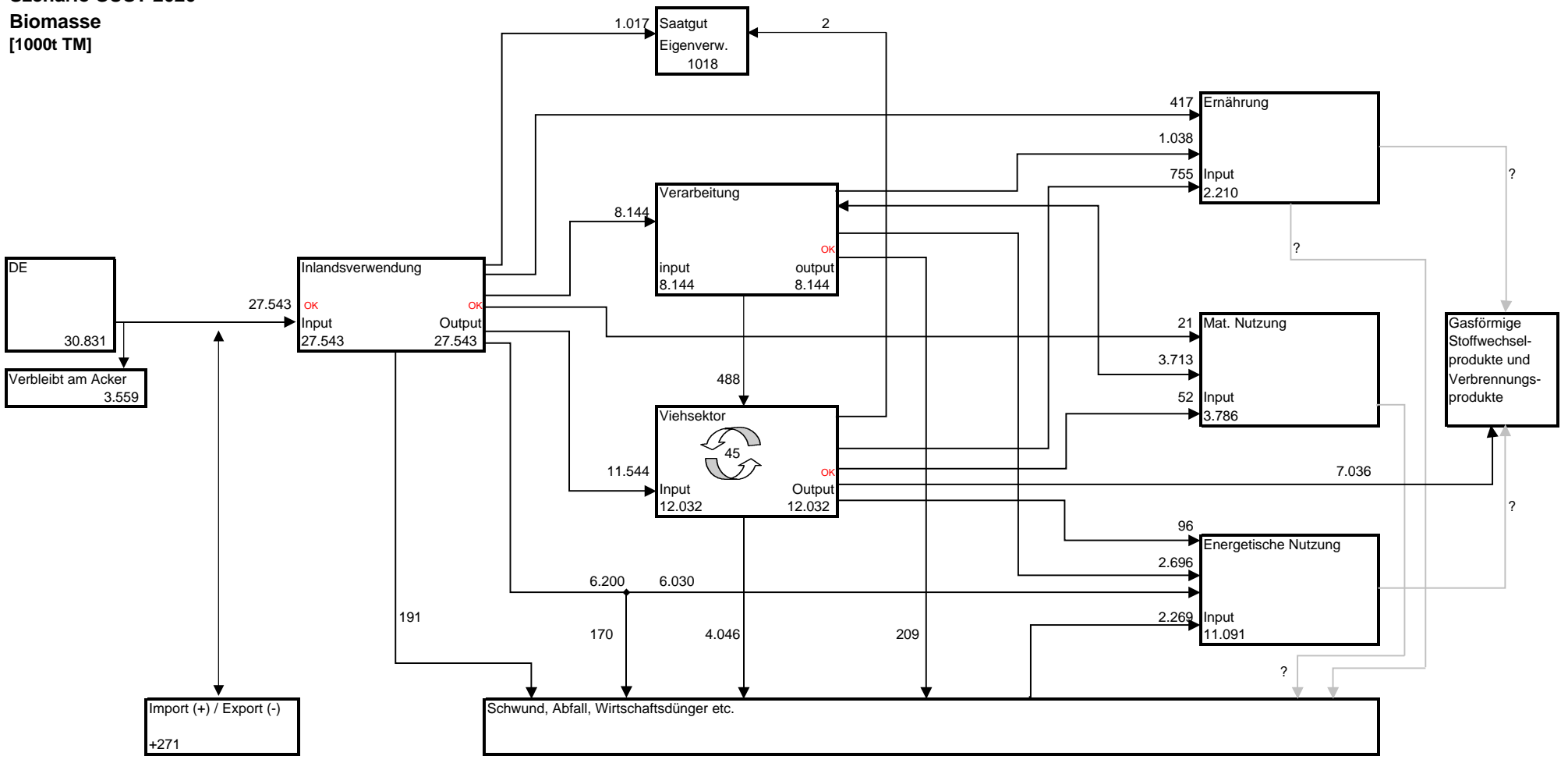
Szenario SUST 2020
Holzwirtschaft
[1000t TM]



Quelle: eigene Berechnungen

Abbildung A15

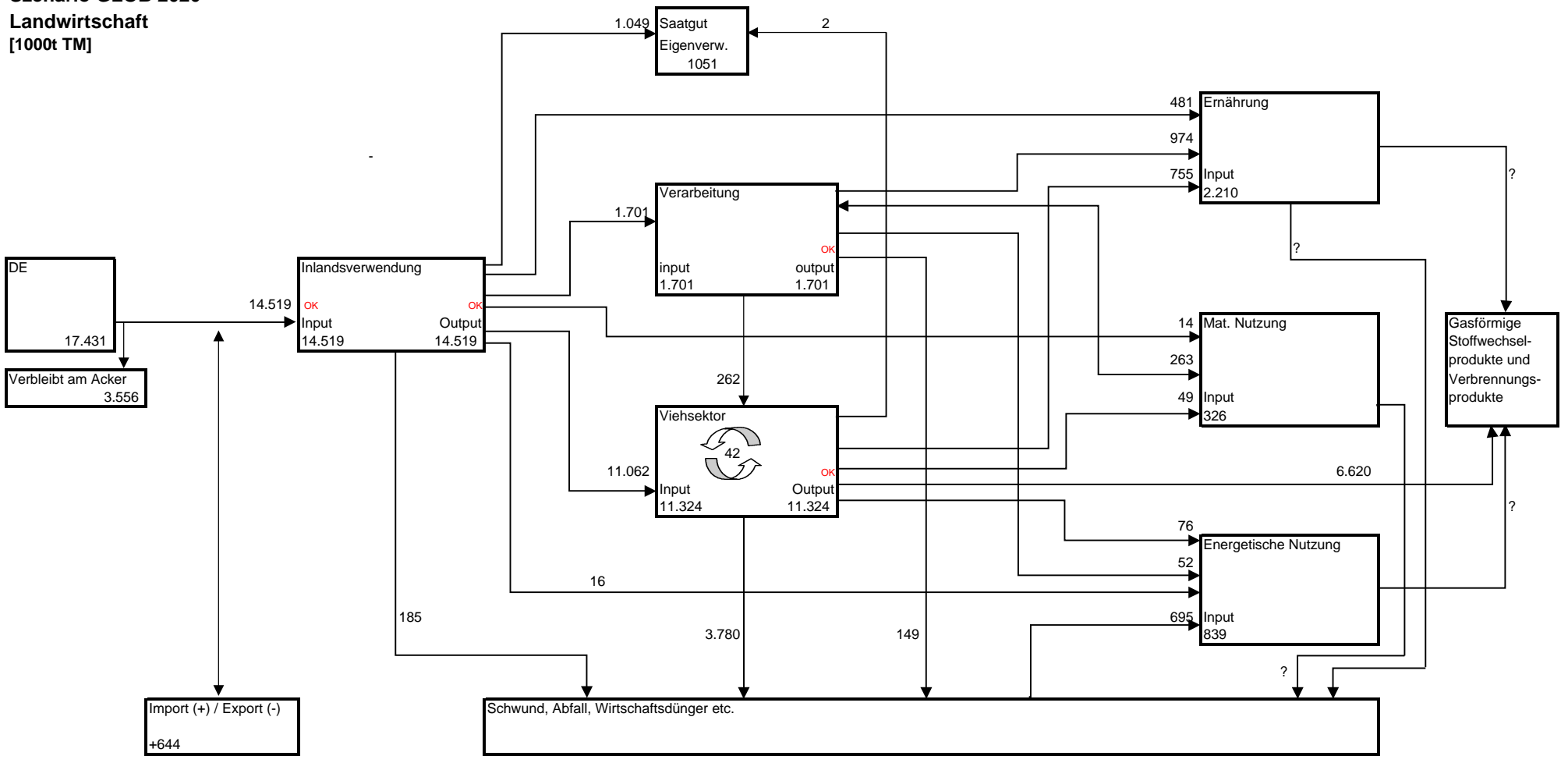
Szenario SUST 2020
Biomasse
 [1000t TM]



Quelle: eigene Berechnungen

Abbildung A16

Szenario GLOB 2020
Landwirtschaft
 [1000t TM]



Quelle: eigene Berechnungen