

Technische Universität München
Lehrstuhl für Wirtschaftslehre des Landbaues

Szenarien nachhaltiger Bioenergiepotenziale bis 2030 – Modellierung für Deutschland, Polen, Tschechien und Ungarn

Sonja Maria Simon

Vollständiger Abdruck der von der Fakultät Wissenschaftszentrum Weihenstephan für Ernährung, Landnutzung und Umwelt der Technischen Universität München zur Erlangung des akademischen Grades eines

Doktors der Agrarwissenschaften (Dr. agr.)

genehmigten Dissertation.

Vorsitzender: Univ.-Prof. Dr. K. Salhofer
Prüfer der Dissertation: 1. Univ.-Prof. Dr. Dr. h.c. (BG) A. Heißenhuber
2. Univ. Prof. Dr. M. Faulstich

Die Dissertation wurde am 02.10.2006 bei der Technischen Universität München eingereicht und durch die Fakultät Wissenschaftszentrum Weihenstephan für Ernährung, Landnutzung und Umwelt am 29.03.2007 angenommen.

Danksagung

**We doctors know
a hopeless case if–listen:there's a hell
of a good universe next door;let's go**

(E.E. Cummings)

Nach 200 Seiten geht das Kapitel Promotion nun dem Ende zu. Ich habe diese Zeit sehr genossen und möchte mich daher bei allen bedanken, die meine Doktorandenzeit bereichert und verschönert haben.

Insbesondere gilt mein Dank meinem Doktorvater, Herrn Prof. Dr. Dr. h.c. Alois Heißenhuber; für das Vertrauen, mit dem er mich auf die erneuerbaren Energien losgelassen hat, die Freiheit, darin meine eigenen Wege zu finden, die Geduld, auch Irrwege auszuhalten und für all die Türen, die sich dadurch erst geöffnet haben.

Eine unverzichtbare Wegbegleiterin war Kirsten Wiegmann vom Öko-Institut e.V. in Darmstadt, die HEKTOR mit aus der Taufe gehoben hat. Herzlichen Dank für die lebhaften Diskussionen und die Übernahme der Patenschaft.

Danke auch an meinen Betreuer, Herrn Dr. Hubert Pahl für die Durchsicht der Arbeit und ein immer offenes Büro und an Herrn Prof. Dr. Martin Faulstich für die Übernahme der Zweitkorrektur.

Ganz herzlich möchte ich mich bei Ulrich Frey bedanken, der mich immer und überall persönlich, philosophisch, technisch, orthografisch und in der griechischen Mythologie mit viel Humor und Geduld unterstützt hat.

Ein besonderer Dank gebührt meinen Eltern, für ihre allzeitbereite Unterstützung und meinen kleinen Traum vom „Dr. Ingenieur“. Herzlichen Dank auch an mein „soziales Netz“ von Freunden und Geschwistern, das auch noch durch eine dünne Telefonschnur hält.

Vielen Dank schließlich an meine Kollegen vom Lehrstuhl für Wirtschaftslehre des Landbaues, die meine Zeit in Freising so angenehm gemacht haben.

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis	3
Abbildungsverzeichnis.....	7
Tabellenverzeichnis.....	9
1 Einleitung	11
1.1 Problemstellung	12
1.2 Zielsetzung.....	13
1.3 Vorgehen	13
2 Biomasse als erneuerbarer Energieträger	15
2.1 Erneuerbare Energien in der Energieversorgung	15
2.1.1 Formen erneuerbarer Energien	16
2.1.2 Derzeitige Nutzung erneuerbarer Energien.....	16
2.1.3 Politik und Ziele für erneuerbare Energien.....	18
2.1.4 Zukünftige Entwicklung der Energienachfrage.....	21
2.2 Bedeutung der Biomasse als regenerative Energie.....	23
2.2.1 Derzeitige Biomassenutzung.....	23
2.2.2 Politik für die Biomasse	24
2.3 Biomassequellen.....	25
2.3.1 Abgrenzung von Biomasse aus Forst- und Abfallwirtschaft	26
2.3.2 Reststoffe und Anbaubiomasse aus der Landwirtschaft	27
3 Biomassepotenziale in der Literatur.....	31
3.1 Der Potenzialbegriff	31
3.2 Methoden zur Abschätzung von Biomassepotenzialen	32
3.2.1 Statische Berechnung des Biomasseanfalls	33
3.2.2 Modelle zur Potenzialbestimmung.....	36
4 Das Modell HEKTOR: Ermittlung landwirtschaftlicher Biomassepotenziale 41	41
4.1 Ziel des Modells	41
4.2 Arbeitsweise von HEKTOR.....	41
4.3 Modellstruktur	43
4.3.1 Datengrundlage: Die Basisdateien	43
4.3.2 Die Modelldatei HEKTOR.....	46
4.3.3 Flächenbedarf außerhalb der Landwirtschaft.....	51
4.3.4 Reststoffpotenziale aus der Landwirtschaft.....	52
4.3.5 Ergebnisüberblick für Flächen-, Anbau- und Energiepotenziale	55

5 Rahmendaten für die Potenzialermittlung in den ausgewählten Ländern.... 57

5.1	Vergleichender Länderüberblick	57
5.2	Modellannahmen für die Flächennutzung in Deutschland	61
5.2.1	Nahrungsmittelbedarf	62
5.2.2	Annahmen zur Landwirtschaft	64
5.2.2.1	Pflanzenbau	65
5.2.2.2	Rinderhaltung.....	68
5.2.2.3	Schweine- und Geflügelhaltung	72
5.2.2.4	Validierung der Flächen und Tierbestände	75
5.2.3	Außerlandwirtschaftliche Flächennutzung.....	77
5.2.3.1	Flächenverbrauch für Siedlung und Verkehr	77
5.2.3.2	Flächenansprüche des Naturschutzes.....	78
5.3	Modellannahmen für die Flächennutzung in Bayern.....	79
5.3.1	Nahrungsmittelbedarf	79
5.3.2	Annahmen zur Landwirtschaft.....	80
5.3.2.1	Pflanzenbau	80
5.3.2.2	Rinderhaltung.....	81
5.3.2.3	Schweine- und Geflügelhaltung	82
5.3.2.4	Validierung der Flächen und Tierbestände	83
5.3.3	Außerlandwirtschaftliche Flächennutzung.....	84
5.3.3.1	Flächenverbrauch	84
5.3.3.2	Flächenansprüche des Naturschutzes.....	84
5.4	Modellannahmen für die Flächennutzung in Polen	84
5.4.1	Nahrungsmittelbedarf	85
5.4.2	Annahmen zur Landwirtschaft.....	86
5.4.2.1	Pflanzenbau	87
5.4.2.2	Rinderhaltung.....	88
5.4.2.3	Schweine- und Geflügelhaltung	91
5.4.2.4	Validierung der Flächen und Tierbestände	93
5.4.3	Außerlandwirtschaftliche Flächennutzung.....	94
5.4.3.1	Flächenverbrauch	94
5.4.3.2	Flächenansprüche des Naturschutzes.....	95
5.5	Modellannahmen für die Flächennutzung in Tschechien.....	96
5.5.1	Nahrungsmittelbedarf	97
5.5.2	Annahmen zur Landwirtschaft.....	97
5.5.2.1	Pflanzenbau	97
5.5.2.2	Rinderhaltung.....	98
5.5.2.3	Schweine- und Geflügelhaltung	100
5.5.2.4	Validierung der Flächen und Tierbestände	100
5.5.3	Außerlandwirtschaftliche Flächennutzung.....	101
5.5.3.1	Flächenverbrauch	101
5.5.3.2	Flächenansprüche des Naturschutzes.....	102

5.6	Modellannahmen für die Flächennutzung in Ungarn	102
5.6.1	Nahrungsmittelbedarf	103
5.6.2	Annahmen zur Landwirtschaft	103
5.6.2.1	Pflanzenbau	103
5.6.2.2	Rinderhaltung.....	104
5.6.2.3	Schweine- und Geflügelhaltung	105
5.6.2.4	Validierung der Flächen und Tierbestände	106
5.6.3	Außerlandwirtschaftliche Flächennutzung.....	107
5.6.3.1	Flächenverbrauch	107
5.6.3.2	Flächenansprüche des Naturschutzes.....	107
5.7	Modellannahmen für die Berechnung der Primärenergiepotenziale	108
5.7.1	Landwirtschaftliche Reststoffpotenziale	108
5.7.1.1	Reststoffpotenziale aus der Tierhaltung	109
5.7.1.2	Erntereste aus dem Pflanzenbau.....	113
5.7.2	Anbaupotenziale auf den verfügbaren Flächen.....	115
5.7.2.1	Energiepotenziale auf Grünland	115
5.7.2.2	Energiepotenziale auf Ackerland	116
6	Szenarien für landwirtschaftliche Biomassepotenziale	119
6.1	Definition der Szenarien.....	119
6.1.1	Referenzszenario	119
6.1.2	Nachhaltigkeitsszenario.....	125
6.1.2.1	Konkurrenzfaktoren für die Biomasseerzeugung.....	125
6.1.2.2	Synergiefaktoren für die Biomasseerzeugung	127
6.1.3	Szenarete zu reduzierten Nahrungsmittelexporten	128
6.1.4	Überblick über die Szenarien	129
6.2	Ergebnisse der Szenarien.....	131
6.2.1	Ergebnisse des Referenzszenarios.....	131
6.2.1.1	Anbaupotenziale	131
6.2.1.2	Reststoffpotenziale	133
6.2.1.3	Überblick über die Biomassepotenziale im Referenzszenario	134
6.2.1.4	Sensitivitätsanalyse	135
	Ergebnisse des Nachhaltigkeitsszenarios	139
6.2.1.5	Konkurrierende Faktoren	139
6.2.1.6	Verstärkende Faktoren	140
6.2.2	Ergebnisse der Szenarete zu reduzierten Nahrungsmittelexporten	142

7 Diskussion und Schlussfolgerungen	145
7.1 Vergleich zwischen Referenz- und Nachhaltigkeitsszenario.....	145
7.2 Die Biomassepotenziale nach HEKTOR im Vergleich mit aktuellen Studien.....	150
7.2.1 Reststoffpotenziale	150
7.2.2 Anbaupotenziale.....	153
7.3 Bedeutung der landwirtschaftlichen Biomasse für die Energieversorgung.....	156
7.4 Ausblick.....	162
8 Zusammenfassung.....	165
9 Summary	169
10 Literatur.....	173
Anhang	187
Abkürzungsverzeichnis	187
Datenblätter zur Definition der Szenarien	188
Ergebnisse der Potenzialberechnungen.....	195

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Anteile verschiedener Energieträger am weltweiten Primärenergieverbrauch.....	17
Abbildung 2: Anteile erneuerbarer Energien an der Energieversorgung* und Ziele für 2010	18
Abbildung 3: Zeitlicher Überblick über die Förderung erneuerbarer Energien in OECD-Ländern	19
Abbildung 4: Szenarien für den zukünftigen Primärenergieverbrauch der EU-25	21
Abbildung 5: Szenarien für den zukünftigen Primärenergieverbrauch in Deutschland	22
Abbildung 6: Biomasseanteil in der Energieversorgung ausgewählter Länder	24
Abbildung 7: Überblick über die verschiedenen Biomassequellen	26
Abbildung 8: Formen landwirtschaftlicher Biomasse	27
Abbildung 9: Hierarchie der Potenzialbegriffe	31
Abbildung 10: Fließschema für das Modell HEKTOR	42
Abbildung 11: Verzeichnisstruktur des Modells.....	44
Abbildung 12: Berechnungsschema für die Landnutzung in der Tierproduktion.....	45
Abbildung 13: Verknüpfung der Rindfleischproduktion aus Milchvieh- und Mutterkuhhaltung	49
Abbildung 14: Schema für die Berechnung der Reststoffpotenziale	53
Abbildung 15: Schema für die Ermittlung des Strohaufkommens	54
Abbildung 16: Europakarte mit Überblick über die betrachteten Länder und Regionen	57
Abbildung 17: Entwicklung der Außenhandelsbilanzen für Agrarprodukte der ausgewählten Länder in Mrd. €.....	59
Abbildung 18: Aufteilung der Landesflächen auf verschiedene Nutzungstypen (2003)	60
Abbildung 19: Verbrauch tierischer Lebensmittel in Deutschland nach 1960* und Trends bis 2030.....	62
Abbildung 20: Verbrauch pflanzlicher Lebensmittel in Deutschland nach 1960* und Trends bis 2030	63
Abbildung 21: Ertragsentwicklung ausgewählter Kulturen seit 1980 für Deutschland* und Trends bis 2030	65
Abbildung 22: Entwicklungen in der Milcherzeugung in Deutschland seit 1990 und zukünftige Milchquote und Trend der Milchleistung bis 2030	68
Abbildung 23: Entwicklung der Rinderbestände in Deutschland nach 1980	70
Abbildung 24: Entwicklung der Schweinebestände in Deutschland nach 1980*.....	73
Abbildung 25: Entwicklung der Geflügelbestände in Deutschland nach 1980*	74
Abbildung 26: Annahmen zum Nahrungsmittelverbrauch in Bayern bis 2030	80
Abbildung 27: Ertragsentwicklung in Bayern seit 1980 und Trends bis 2030	81
Abbildung 28: Pro-Kopf-Verbrauch in Polen nach 1975 und Trends bis 2030.....	85
Abbildung 29: Ertragsentwicklung in Polen seit 1985 und Trends bis 2030.....	87
Abbildung 30: Entwicklungen in der Milcherzeugung in Polen ab 1987 und Trends für Milchleistung und Milcherzeugung	89
Abbildung 31: Entwicklung der Rinderbestände in Polen nach 1987*	90
Abbildung 32: Entwicklung der Schweinebestände in Polen nach 1989*	92
Abbildung 33: Entwicklung der Eier- und Geflügelproduktion in Polen nach 1989	92
Abbildung 34: Pro-Kopf-Verbrauch in Tschechien nach 1993 und Trends bis 2030.....	97

Abbildung 35: Entwicklungen in der Milcherzeugung in Tschechien nach 1980, künftige Milchquote und Trend der Milchleistung	99
Abbildung 36: Pro-Kopf-Verbrauch in Ungarn nach 1972 und Trends bis 2030	103
Abbildung 37: Ertragsentwicklung in Ungarn seit 1987 und Trends bis 2030	104
Abbildung 38: Entwicklung der Rinderbestände in Ungarn ab 1988	105
Abbildung 39: Entwicklung der Schweinebestände in Ungarn nach 1987	106
Abbildung 40: Verfügbare Flächen und Nutzungskonkurrenz für Deutschland und Polen im Referenzszenario	131
Abbildung 41: Verfügbare Flächen und Nutzungskonkurrenz für Bayern, Tschechien und Ungarn im Referenzszenario	132
Abbildung 42: Reststoffpotenziale in Deutschland und Polen	133
Abbildung 43: Reststoffpotenziale in Bayern, Tschechien und Ungarn	134
Abbildung 44: Energiepotenziale für Deutschland und Polen im Referenzszenario	135
Abbildung 45: Energiepotenziale für Bayern, Tschechien und Ungarn im Referenzszenario	135
Abbildung 46: Flächenkonkurrenz im Nachhaltigkeitsszenario für Deutschland und Polen	139
Abbildung 47: Flächenkonkurrenz im Nachhaltigkeitsszenario für Bayern, Tschechien und Ungarn	140
Abbildung 48: Flächenwirkung des reduzierten Flächenverbrauchs in Deutschland und Polen	140
Abbildung 49: Flächenwirkung des reduzierten Flächenverbrauchs in Bayern, Tschechien und Ungarn	141
Abbildung 50: Flächenfreisetzung bei Exportreduktion in Deutschland und Polen	143
Abbildung 51: Flächenfreisetzung bei Exportreduktion in Bayern, Tschechien und Ungarn	143
Abbildung 52: Vergleich verfügbarer Flächenanteile an der LF in den drei Szenarien	146
Abbildung 53: Potenzialvergleich zwischen den Szenarien für Deutschland und Bayern* ..	147
Abbildung 54: Potenzialvergleich zwischen den Szenarien für Polen, Tschechien und Ungarn*	148
Abbildung 55: Biomassepotenzial nach HEKTOR im Vergleich mit Szenarien für den zukünftigen Energieverbrauch in Deutschland.....	157
Abbildung 56: Szenarien für das Biomassepotenzial nach HEKTOR und den zukünftigen Energieverbrauch in Ungarn	158

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Institutionelle Rahmenbedingungen für die Biomasse im Überblick	25
Tabelle 2: Vergleich von Reststoffpotenzialen aus verschiedenen Studien	33
Tabelle 3: Ergebnisvergleich globaler Biomassepotenzialmodelle	37
Tabelle 4: Prozesse für die Tierhaltung in HEKTOR	45
Tabelle 5: Allgemeine Kenndaten der ausgewählten Länder (2003)	58
Tabelle 6: Wirtschaftlicher Kenndaten der ausgewählten Länder (2003)	58
Tabelle 7: Kenndaten der Energiesektoren ausgewählten Länder (2001).....	60
Tabelle 8: Ertragsdifferenz zwischen konventionellem und ökologischem Landbau für Deutschland	66
Tabelle 9: Produktionsprozesse in der Milcherzeugung für Deutschland	69
Tabelle 10: Produktionsprozesse in der Rindermast für Deutschland	71
Tabelle 11: Produktionsprozesse in der Schweinemast für Deutschland	73
Tabelle 12: Produktionsprozesse in der Legehennenhaltung für Deutschland	74
Tabelle 13: Produktionsprozesse in der Geflügelmast für Deutschland.....	74
Tabelle 14: Vergleich der landwirtschaftlichen Flächennutzung nach HEKTOR und der amtlichen Statistik für Deutschland (2000)	76
Tabelle 15: Vergleich der Anzahl an Nutztieren nach HEKTOR und der amtlichen Statistik für Deutschland (2000)	77
Tabelle 16: Berechnungsgrundlage für die Ausgleichspflicht bei Flächenverbrauch für Siedlung und Verkehr in Deutschland.....	78
Tabelle 17: Vergleich der landwirtschaftlichen Flächennutzung nach HEKTOR und der amtlichen Statistik für Bayern (2000)	83
Tabelle 18: Vergleich der Bestände in HEKTOR und der amtlichen Statistik für Bayern (2000).....	84
Tabelle 19: Annahmen zur Ertragsdifferenz zwischen konventionellem und ökologischem Landbau für Polen.....	88
Tabelle 20: Produktionsprozesse in der Milcherzeugung für Polen	90
Tabelle 21: Vergleich der landwirtschaftlichen Flächennutzung nach HEKTOR und der europäischen Statistik für Polen (2000)	93
Tabelle 22: Vergleich der Anzahl an Nutztieren nach HEKTOR und der amtlichen Statistik für Polen (2000)	94
Tabelle 23: Naturschutzflächen in Polen nach IUCN-Kategorien (2003)	95
Tabelle 24: Vergleich der landwirtschaftlichen Flächennutzung nach HEKTOR und der europäischen Statistik für Tschechien (2000).....	100
Tabelle 25: Vergleich der Anzahl an Nutztieren nach HEKTOR und der amtlichen Statistik für Tschechien (2000)	101
Tabelle 26: Naturschutzflächen in Tschechien (2003)	102
Tabelle 27: Vergleich der landwirtschaftlichen Flächennutzung nach HEKTOR und der europäischen Statistik für Ungarn (2000)	106
Tabelle 28: Vergleich der Anzahl an Nutztieren nach HEKTOR und der amtlichen Statistik für Ungarn (2000)	107
Tabelle 29: Naturschutzflächen in Ungarn (2003).....	108
Tabelle 30: Anteil der berücksichtigten Bestände in den verschiedenen Ländern.....	109
Tabelle 31: Exkrementaufkommen nach Tierarten und Produktionsprozessen für Rinder, Schweine und Geflügel in Deutschland	110

Tabelle 32: Biogasausbeuten für Exkrementen	111
Tabelle 33: Biogaspotenziale nach HEKTOR für Deutschland (2000)	112
Tabelle 34: Abweichung der Biogaspotenziale nach AUGIAS gegenüber IE	112
Tabelle 35: Annahmen zu Stroh-zu-Korn-Verhältnissen für PROMETHEUS	113
Tabelle 36: Technische Daten zur Berechnung der Primärenergiepotenziale aus Energiepflanzenanbau	117
Tabelle 37: Anteile der Produktionsrichtungen im Referenzszenario für Deutschland	120
Tabelle 38: Annahmen zur Produktion im Referenzszenario für 2030	121
Tabelle 39: Selbstversorgungsgrade pflanzlicher Produkte im Referenzszenario	122
Tabelle 40: Selbstversorgungsgrade für Schweinefleisch, Geflügelfleisch und Eier im Referenzszenario	123
Tabelle 41: Rindfleischproduktion im Referenzszenario	123
Tabelle 42: Flächenverbrauch für Siedlung und Verkehr im Referenzszenario	124
Tabelle 43: Flächenforderung für den Erhalt extensiven Grünlands	126
Tabelle 44: Flächenverbrauch im Nachhaltigkeitsszenario	127
Tabelle 45: Selbstversorgungsgrade in der Szenarettete zu reduzierten Exporten	129
Tabelle 46: Vergleichender Überblick über die Szenarien	129
Tabelle 47: Energiepotenziale aus dem Energiepflanzenanbau im Referenzszenario	132
Tabelle 48: Landwirtschaftliche Biomassepotenziale im Referenzszenario (REF)	134
Tabelle 49: Überblick über die Sensitivität ausgewählter Parameter in HEKTOR	138
Tabelle 50: Zusätzliches Reststoffpotenzial im Nachhaltigkeitsszenario für 2000 - 2030	141
Tabelle 51: Landwirtschaftliche Biomassepotenziale im Nachhaltigkeitsszenario (NH)	142
Tabelle 52: Landwirtschaftliche Biomassepotenziale in der Szenarettete zu reduzierten Exporten (NHSV)	144
Tabelle 53: Überblick über die Energiepotenziale aller Szenarien	145
Tabelle 54: Vergleich landwirtschaftlicher Reststoffpotenziale nach HEKTOR aus der vorliegenden Arbeit mit aktuellen Studien	151
Tabelle 55: Vergleich der Flächenpotenziale nach HEKTOR aus der vorliegenden Arbeit mit aktuellen Studien	153
Tabelle 56: Potenzieller Anteil der landwirtschaftlichen Biomasse am Primärenergieverbrauch in 2030	159

1 Einleitung

Erneuerbare Energien sind die vielversprechendste Lösung für die mannigfaltigen Probleme der heutigen, fossilen Energieversorgung. Die Reichweite der noch vorhandenen fossilen Energieträger und ihre Endlichkeit sind damit bereits absehbar. Zudem konzentrieren sich die Reserven in wenigen Regionen der Erde, in welchen die politische Lage häufig instabil ist. Einerseits ist dadurch die Versorgungssicherheit mit fossilen Energieträgern nicht immer gesichert, wie die Knappheit von Öl oder Gas in Krisenfällen wiederholt bewiesen hat, andererseits beschränkt dies den Zugang zu Energie, vor allem für finanzschwache Regionen der Welt. Darüber hinaus führt die Nutzung fossiler Energien, wie Öl, Kohle und Gas zu einem erheblichen Ausstoß an CO₂, das in Millionen von Jahren gebunden worden ist und heute in wenigen Jahrzehnten in die Erdatmosphäre gelangt. Dies gilt heute als ein Grund für die Verstärkung des Treibhauseffekts und den Anstieg der Temperatur der Atmosphäre (UBA 2002).

Bei den Weltgipfeln von Rio de Janeiro 1992¹ (UN 2002b) und Johannesburg 2002² (UN 2002c) wurden diese Probleme als Herausforderungen thematisiert, die einer weltweiten nachhaltigen Entwicklung³ entgegenstehen (UNEP 1992; UN 2002a). Als Lösungsansätze wurden neben einer Verbesserung der Energieeffizienz insbesondere der Ausbau erneuerbarer Energien benannt (UN 2002b). Diese gelten als weitgehend CO₂-neutral und sind in ihrer Bandbreite weltweit verfügbar. Um deren Ausbau voranzutreiben wurde 2004 in Bonn eine internationale Konferenz zu erneuerbaren Energieträgern einberufen, an der über 150 Nationen teilnahmen (renewables 2004).

Biomasse ist neben Wind und Sonne, Wasser und Erdwärme ein erneuerbarer Energieträger. Als Oberbegriff für alle organischen Stoffe, die durch Pflanzen und Tiere aufgebaut werden oder aus deren Umsetzung entstehen, kann Biomasse als gespeicherte Sonnenenergie betrachtet werden. Die Energieerzeugung aus Biomasse gilt als CO₂-neutral, da das dabei freigesetzte CO₂ zuvor durch Photosynthese gebunden wurde. Bei Biomasse wird unterschieden nach Anbaubiomasse einerseits, bei welcher Energie das Hauptprodukt darstellt und Rest- bzw. Abfallstoffen andererseits, die bei der Erzeugung und Verarbeitung anderer Produkte als Nebenprodukte anfallen (Kaltschmitt et al. 2001). Mit einem Anteil von 10,8 % leistet die Biomasse zur Zeit den größten erneuerbaren Beitrag an der weltweiten Primärenergieversorgung (IEA 2003).

Die Entstehungsformen und Verwendungen der Biomasse sind sehr vielseitig, so dass Biomasse weltweit zur Energieerzeugung und Absicherung der Energieversorgung beiträgt. Zudem kann Biomasse häufig ohne große Investitionen genutzt werden und trägt damit zur Energieversorgung für ärmere Bevölkerungsschichten sowie zur Verringerung der Armut bei (IEA 2003). Dies gilt insbesondere für ländliche Räume, da Biomasse dort vorwiegend produziert wird und für eine dezentrale Nutzung prädestiniert ist (EU-Kommission 1997).

¹ Rio 92: United Nations Conference on Environment and Development (UNCED), Rio de Janeiro, Brasilien, 1992 (UN 2002b)

² Johannesburg 2002: United Nations World Summit on Sustainable Development, Johannesburg, Südafrika 2002 (UN 2002c).

³ Der Begriff „Nachhaltige Entwicklung“ wurde von der Brundtland-Kommission geprägt. Darunter wird eine Entwicklung verstanden, welche die Bedürfnisse der Gegenwart befriedigt, ohne zu riskieren, dass zukünftige Generationen ihre eigenen Bedürfnisse nicht befriedigen können (Hauff 1987).

1.1 Problemstellung

Damit Biomasse zu einer nachhaltigen Energieversorgung beiträgt, muss jedoch auch die Erzeugung nachhaltig erfolgen (UNEP 1991; Karekezi et al. 2004). Für die Bereitstellung der Biomasse bedeutet dies, dass die verfügbare Biomasse durch den jährlichen Zuwachs und durch Nutzungskonkurrenzen für Reststoffe und Anbauflächen begrenzt wird.

Biomasse wird unter anderem in der Landwirtschaft erzeugt. Sie liefert Reststoffe, z. B. in Form von Ernteresten und Exkrementen, die bei der Produktion von Nahrungsmitteln als Nebenprodukte anfallen. Außerdem können auf landwirtschaftlichen Nutzflächen auch spezielle Energiepflanzen angebaut werden.

Bisher wurden in der Europäischen Union Nahrungsmittelüberschüsse produziert, deren Export auf den Weltmarkt zum Teil subventioniert werden musste. Um die Überschüsse zu begrenzen, besteht für europäische Landwirte, die Agrarbeihilfen beziehen, die Verpflichtung, einen Teil ihrer Ackerflächen aus der Produktion zu nehmen (Rat der EU 2003). Je nach Region betrifft dies in etwa ein Zehntel der Ackerflächen. Die Flächen, die in der Nahrungsmittelproduktion nicht mehr genutzt werden, stehen z. B. für die Produktion von Energiebiomasse zur Verfügung. Die Chance, auf diesen Flächen mit der Biomasseproduktion ein zweites Standbein in der Energieversorgung zu schaffen, ergreifen die Landwirte in steigendem Maße. Zwischen 1998 und 2003 hat sich der Anbau von nachwachsenden Rohstoffen (NawaRos) auf Stilllegungsflächen in Deutschland auf über 330.000 ha verdoppelt (BMVEL 2003).⁴

Die Problematik Überproduktion versus Flächenfreisetzung wird sich in der EU auch in Zukunft fortsetzen. Der Anstieg der Hektarerträge im Pflanzenbau ist ungebrochen, während der Lebensmittelverbrauch zum großen Teil stagniert oder rückläufig ist. Im Zusammenhang mit den laufenden WTO-Verhandlungen werden außerdem die Exportbeihilfen der EU abgebaut (Agra-Europe 2004). Verstärkt wird die Verfügbarkeit von Flächen noch durch die zehn neuen Mitgliedsstaaten der Europäischen Union. Mit dem Beitritt im Mai 2004 vergrößerte sich die landwirtschaftlich genutzte Fläche um 30 %, während die Bevölkerung nur um 20 % anstieg. Damit könnten in der europäischen Landwirtschaft zukünftig noch mehr Flächen zur Verfügung stehen, die nicht mehr zur Nahrungsmittelproduktion benötigt werden.

Dass die Quantifizierung dieser Flächen sowohl aus landwirtschaftlicher als auch aus energie-wirtschaftlicher Sicht dabei von großer Bedeutung ist, zeigt auch der aktuelle Bericht der europäischen Kommission zum Anteil erneuerbarer Energien in der EU:

„Das Biomassepotenzial bedarf weiterer Analyse, besonders hinsichtlich der Verfügbarkeit von Land, der Flächennutzung für verschiedene Biomasse-nutzungen (Wärme, Strom, Biokraftstoffe und Forsterzeugnisse) und der unterschiedlichen Vorteile der verschiedenen Nutzungen, beispielsweise hinsichtlich der Treibhausgasemissionen bei Lebenszyklusbetrachtung“ (EU-Kommission 2004c, S.41).

⁴ Im Jahr 2004 ging der Anbau von NawaRos auf Stilllegungsflächen auf 215.000 ha zurück, allerdings bei reduzierter Stilllegungsverpflichtung für 2004.

Mit der vorliegenden Arbeit wird daher der Frage nachgegangen, wie viel Fläche die Landwirtschaft zukünftig zur Erzeugung von Energiebiomasse bereitstellen kann und wie sich gleichzeitig das Reststoffpotenzial aus der Landwirtschaft verändert.

Eine Eigenheit der Bioenergiesysteme ist, dass sie stärker als fossile Energien von den lokalen Gegebenheiten bezüglich Biomasseangebot und -nachfrage abhängen. Für Energiebiomasse gibt es bisher nur wenige entwickelte große Märkte (Roos et al. 2000). Insbesondere aus Sicht einer nachhaltigen Energieversorgung sind die Transportströme durch geringe Energiedichten bei Biomasse räumlich begrenzt.

Daher ist eine umfassende Analyse der Flächennutzung in der Landwirtschaft in einer bestimmten Region erforderlich, deren landwirtschaftliche Gesamtproduktion letztendlich begrenzt ist. Für eine Region sind einerseits die physikalisch-stofflichen Zusammenhänge der Produktion zu betrachten, andererseits auch die politischen Rahmenbedingungen und ihr Einfluss auf die Weiterentwicklung der Landwirtschaft.

1.2 Zielsetzung

Ziel der vorliegenden Arbeit ist eine Methode zu entwickeln, mit der die Anbau- und Reststoffpotenziale aus der Landwirtschaft zur Energieerzeugung und ihre Entwicklung über die Zeit ermittelt werden kann. Daher wurde das Modell HEKTOR entwickelt. Neu daran ist die integrierte Betrachtung der Flächennutzung unter Berücksichtigung von Nachhaltigkeitskriterien vornimmt. Ein weiterer Vorteil ist die zeitlich dynamische Modellierung, die dem Wandel der Flächennutzung über die Zeit durch Technik und Gesellschaft Rechnung trägt.

Die Modellierung der Biomassepotenziale erfolgt regionenspezifisch. Der räumliche Fokus liegt auf Deutschland und dem flächengrößten Bundesland Bayern sowie auf ausgewählten neuen Mitgliedsstaaten der EU: Polen, Ungarn und Tschechien.

Um die Auswirkungen verschiedener politischer und gesellschaftlicher Rahmenbedingungen zu untersuchen, werden für diese Länder Szenarien erstellt, welche diesen Rahmen variieren. Dabei werden auch Veränderungen durch die 2004 erfolgte Erweiterung der Europäischen Union auf verschiedene Länder und Regionen betrachtet.

1.3 Vorgehen

Zunächst werden die Rahmenbedingungen für den Einsatz von Biomasse als erneuerbarer Energieträger vorgestellt. Nach einer Einordnung der Bioenergie innerhalb der derzeitigen Energieversorgung folgt ein Überblick über die aktuelle Nutzung in den betrachteten Ländern und die verschiedenen Nutzungsmöglichkeiten der Biomasse (Kapitel 2).

Im Hauptteil der Arbeit wird analysiert, welches Potenzial die Biomasse in den nächsten 30 Jahren zur Energieversorgung in ausgewählten Ländern beitragen kann. Zunächst erfolgt ein Überblick über bisherige Potenzialabschätzungen, die jedoch häufig Punktabeschätzungen ohne Zeitachse darstellen oder keine länderspezifischen Daten liefern (Kapitel 3). Daher wurde mit der vorliegenden Arbeit das Modell HEKTOR entwickelt, das die landwirtschaftlichen Biomassepotenziale auf Länderebene dynamisch über die Zeit ermittelt. Dieses Modell dient einer umfassenden Betrachtung der Flächennutzung und der daraus resultierenden Anbau- und Reststoffpotenziale und wird in seiner Funktion und Datengrundlage vorgestellt (Kapitel 4).

Mit HEKTOR werden in einem weiteren Schritt Szenarien für Biomassepotenziale erstellt, die variierende Rahmenbedingungen berücksichtigen. Über eine Dateneingabe können jederzeit Parameter innerhalb des Modells verändert werden, um verschiedene Szenarien zu erzeugen. Zur Erstellung der Szenarien werden die derzeitigen landwirtschaftlichen Rahmenbedingungen und ihre Weiterentwicklung analysiert (Kapitel 5).

Anhand der einschlägigen Literatur zur Politikfolgenabschätzung wird zunächst für alle Länder ein Referenzszenario erstellt, das die Fortschreibung der aktuell gültigen Agrarpolitik zu Grunde legt. Ausgehend von diesem Referenzszenario werden mögliche Änderungen dieser Rahmenbedingungen und deren Auswirkungen untersucht. Dazu wird mit dem Modell ein so genanntes Nachhaltigkeitsszenario erzeugt, das an die Biomassepotenziale Restriktionen aus Sicht der Nachhaltigkeit anlegt (Kapitel 6).

Diese Szenarien stecken einen Korridor ab, der die zukünftige Varianzbreite einer möglichen Biomasseproduktion in der Landwirtschaft abbildet. Dieser Korridor wird in einem weiteren Schritt ausführlich diskutiert und in den Kontext der Energieversorgung gestellt. Abschließend werden daraus Schlüsse für die zukünftige Bedeutung der Biomasse in der Energieversorgung in den betrachteten Regionen gezogen (Kapitel 7).

2 Biomasse als erneuerbarer Energieträger

Wie sich die Energieversorgung in Zukunft entwickeln wird, hängt von sehr unterschiedlichen Faktoren ab. Einerseits ist entscheidend, wie viel Energie in den verschiedenen Regionen zukünftig nachgefragt wird. Andererseits bestimmt das Angebot an verschiedenen Energieträgern, welche Energieformen genutzt werden und zukünftig größere Bedeutung einnehmen oder an Bedeutung verlieren. Die vorliegende Arbeit beschäftigt sich mit dem Angebot – oder Potenzial eines Energieträgers, der Biomasse. Zunächst wird daher die Biomasse in den aktuellen Rahmen der Energieversorgung eingeordnet. Für die Abschätzung der zukünftigen Bedeutung der Biomasse wird dann ein Blick auf die Zukunft der Energienachfrage geworfen.

2.1 Erneuerbare Energien in der Energieversorgung

Als *erneuerbar* oder *regenerativ* bezeichnet man Energie aus Quellen, die sich im Laufe der Zeit wieder erneuern und im menschlichen Maßstab unerschöpflich sind. Im Gegensatz dazu wurde der Vorrat an fossilen Energien in geologisch vergangenen Zeiträumen akkumuliert und erschöpft sich damit über die Zeit (Kaltschmitt et al. 1997b). Erneuerbare Energien sind dagegen Teil aktueller energetischer und stofflicher Prozesse.

Biomasse ist nur *ein* Energieträger unter den erneuerbaren Energien. Deren Anteil an der gesamten Energieversorgung ist bisher noch relativ gering, es gibt jedoch viele Bemühungen, den Anteil zu steigern. Dafür gibt es ökologische, soziale und ökonomische Gründe, die alle auf eine Verbesserung der Nachhaltigkeit der Energieversorgung abzielen. Erneuerbare Energien sind damit integraler Bestandteil von Strategien für eine nachhaltige Entwicklung, sowohl auf internationaler als auch auf nationaler Ebene (Europäischer Rat 2001; Bundesregierung 2003; renewables 2004).

Die Nutzung fossiler Energieträger verursachte in den letzten 20 Jahren 3/4 des anthropogenen CO₂-Ausstoßes, der neben anderen Gasen für den Treibhauseffekt und damit die Klimaerwärmung verantwortlich gemacht wird (IPCC 2001). In Anbetracht der damit verbundenen Gefahren wurden im Kyoto-Protokoll Grenzen für den Ausstoß von CO₂ vereinbart (UN 1998). Erneuerbare Energien bieten die Möglichkeit, Energie CO₂-neutral oder CO₂-reduziert zu erzeugen. Die EU geht in ihrem Weißbuch zu den erneuerbaren Energien (EU-Kommission 1997) davon aus, dass eine Verdoppelung des Anteils regenerativer Energien an der Energieversorgung gegenüber 1997 zu einer Einsparung von etwa 400 Millionen (Mio.) Tonnen (t) CO₂ führt.

Der Hauptgrund für den Ausbau der erneuerbaren Energien ist derzeit die Verringerung der Treibhausgasemissionen (UBA 2002). Zwar ist die Einsparung von Treibhausgasen durch effizientere Nutzung derzeit noch günstiger, mit steigender Effizienz wird jede zusätzliche Verbesserung jedoch teurer. Vom schließlich unvermeidbaren Energieverbrauch muss langfristig ein weiterer Teil durch regenerative Energien ersetzt werden (Nitsch et al. 2004).

Aus ökonomischer Sicht ist vorwiegend die begrenzte Versorgungssicherheit bei fossilen Energieträgern von Bedeutung. Einerseits sind bereits große Teile der Lagerstätten abgebaut – bei Erdöl bereits 1/3 der gesamten Reserven (BGR 2003). Andererseits sind die Ressourcen ungleichmäßig verteilt. Über 70 % der Erdölreserven liegen im Nahen Osten und in Russland (Nitsch et al. 2004). Europa ist heute zu 50 % von Energieimporten abhängig (EU-

Kommission 1997). Bei nachhaltiger Nutzung sind erneuerbare Energien dagegen unerschöpflich und aufgrund ihrer Vielfalt wesentlich gleichmäßiger verteilt. Die Möglichkeit der dezentralen Nutzung erhöht die Versorgungssicherheit ebenfalls.

Auch aus Kostensicht sind Vorteile durch die Nutzung erneuerbarer Energien zu erwarten. Zwar war vor 15-20 Jahren die Produktion von Biomasse zur Energieerzeugung in Europa noch weitgehend unwirtschaftlich (Ortmaier 1991), langfristig könnten erneuerbaren Energien aber gegenüber den immer knapperen und damit teureren fossilen Energieträgern im Vorteil sein (UBA 2002).

Im Hinblick auf soziale Nachhaltigkeit bieten erneuerbare Energien in Entwicklungsländern für breitere Bevölkerungsschichten Zugang zur Energieversorgung (renewables 2004). Aber auch in Europa befördern erneuerbaren Energien die soziale Nachhaltigkeit. Vor allem Bioenergie bietet neue Arbeit im ländlichen Raum und leistet damit einen Beitrag zur nachhaltigen Entwicklung strukturschwacher Gebiete (EU-Kommission 1997).

2.1.1 Formen erneuerbarer Energien

Der Begriff *erneuerbare Energien* umfasst eine Vielzahl von Energieträgern. Grundsätzlich lassen sich diese auf die drei Primärenergiequellen zurückführen (vgl. dazu Kleemann et al. 1993; Kaltschmitt et al. 1997b): Bis auf *Erdwärme und Gezeitenenergie* basieren alle weiteren regenerativen Energien auf *Sonnenenergie*. Die jährliche Einstrahlung auf der Erde umfasst ein Vielfaches des Weltenergieverbrauchs, nur ein geringer Anteil ist davon tatsächlich nutzbar (BMU 2004b).

Direkt wird die Sonnenenergie in Form von Wärme genutzt, etwa durch Sonnenkollektoren. In solarthermischen Kraftwerken oder Fotovoltaikanlagen kann aus der Lichteinstrahlung elektrische Energie gewonnen werden. Die direkte Nutzung der Solarstrahlung ist stark vom Strahlungsangebot des jeweiligen Standorts abhängig, das in Äquatornähe am höchsten ist.

Indirekt basieren auch *Biomasse, Wind* und *Wasserkraft* auf Sonnenenergie. Bei Biomasse wird dabei die Strahlungsenergie von Pflanzen durch Photosynthese in energiereiche, kohlenstoffhaltige Verbindungen umgewandelt und gespeichert. Die Pflanzen erreichen in ihrer Wachstumszeit einen Wirkungsgrad von 1-3 %. Die Nutzung von Biomasse wird durch das Angebot, also den Aufwuchs an Pflanzenmaterial und den Anfall an Reststoffen begrenzt. Da Biomasse gespeicherte Energie darstellt, können zeitliche und räumliche Angebotsbegrenzungen überbrückt werden. Dadurch kann die Energieproduktion besser an die Nachfrage angepasst werden. Aktuell ist Biomasse als stoffliche Speicherform von Energie die einzige Option im Treibstoffsektor.

Aufgrund der Vielseitigkeit gibt es für jede erneuerbare Energie geeignete räumliche und technische Schwerpunkte. Daher werden bereits heute alle genannten erneuerbaren Energiequellen zur Energieversorgung genutzt, wenn auch in sehr unterschiedlichem Maßstab.

2.1.2 Derzeitige Nutzung erneuerbarer Energien

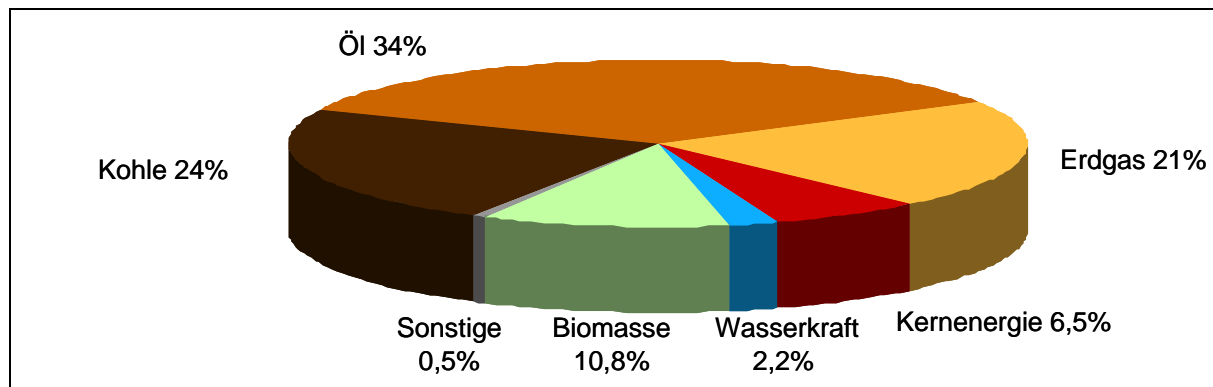
In 2003 lag nach den Statistiken der IEA (2005) der Welt-Primärenergieverbrauch bei 440.000 PJ⁵, wovon 13 % auf erneuerbare Energieträger entfallen. Die Verteilung auf die

⁵ PJ = Peta-Joule = 10¹⁵ Joule; 1 PJ = 23.885 t ROE; ROE = Rohöläquivalent

unterschiedlichen Energieträger zeigt Abbildung 1. Biomasse trägt dabei über 3/4 der erneuerbaren Energieversorgung. Der Energieverbrauch ist in der Vergangenheit weltweit stark angestiegen. Zwischen 1990 und 2000 nahm er um 15 % zu, ein Trend, der sich bis 2020 noch verstärken wird (EU-Kommission 2004c).

In den industrialisierten Ländern liegt der Anteil erneuerbarer Energien unter dem weltweiten Durchschnitt. In den OECD-Ländern⁶ stammen gerade einmal 5,8 % des Energieverbrauchs aus erneuerbaren Quellen. Auch hier hat Biomasse laut IEA mit 54 % die größte Bedeutung vor Wasserkraft und Geothermie. Den höchsten Zuwachs konnten in der letzten Dekade flüssige Biomasse (+84 %), Solarenergie (+28 %) und Windenergie (+22 %) verbuchen, wobei diese zusammen noch immer weniger als 1 % zur Primärenergieversorgung beitragen.

Abbildung 1: Anteile verschiedener Energieträger am weltweiten Primärenergieverbrauch



(Datengrundlage: IEA 2005)

Ähnlich stellt sich die Situation in der EU-25⁷ dar, wobei die Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien mit 13,8 % noch unter dem OECD-Durchschnitt liegt. Zwischen den verschiedenen Mitgliedsstaaten schwanken die Anteile erneuerbarer Energien an der Energieversorgung stark. Abbildung 2 zeigt die Bandbreite innerhalb der EU sowie die Ziele, die sich diese Länder für den künftigen Anteil an regenerativem Strom gesetzt haben.

Der Anteil erneuerbarer Energie in der Energieversorgung reicht von 1 % in Belgien bis hin zu den europäischen Spitzenreitern Österreich und Schweden, die bereits 22 % bzw. 29 % ihrer Energie vorwiegend aus Wasser und Biomasse gewinnen. Die flächengrößten Neumitglieder Ungarn und Polen nutzen erneuerbare Energien dagegen noch kaum. Die in Abbildung 2 dargestellten Ziele für den erneuerbaren Stromanteil in 2010 lassen aber zukünftig vermehrte Anstrengungen zum Ausbau erwarten.

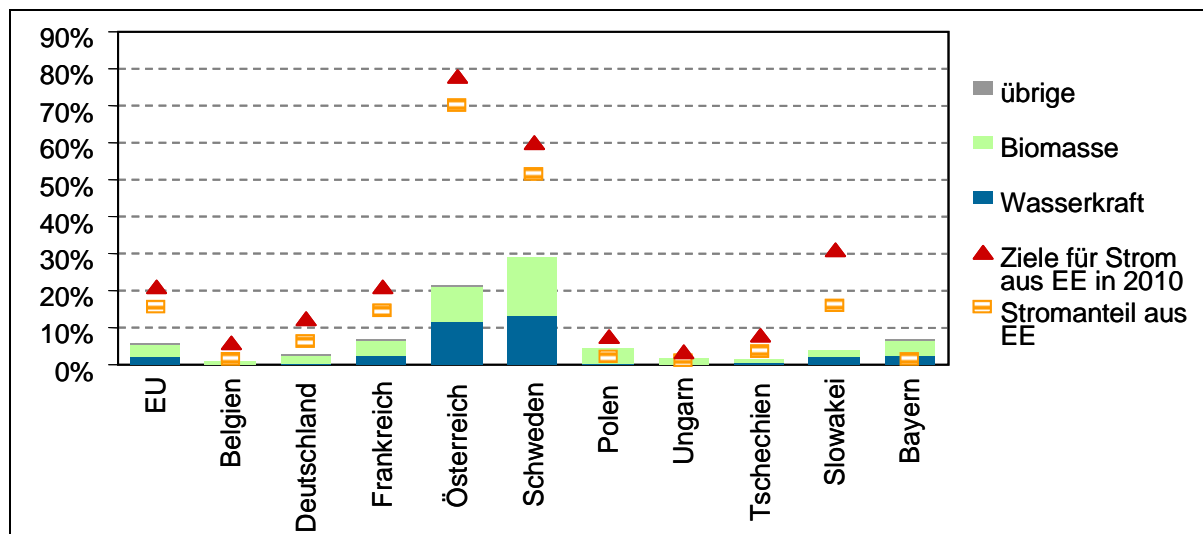
Solarenergie und Geothermie tragen derzeit nur wenig Energie bei. Auch dieses Bild wird sich zukünftig stark verändern, da einige erneuerbare Energieträger in den letzten Jahren eine starke Dynamik entwickelten, z. B. die Windenergie. In Deutschland hat sich der Anteil erneuerbarer Energien am Primärenergieverbrauch zwischen 1991 und 2003 vervierfacht (BMU 2005). Während vorwiegend im Norden große Windparks entstanden sind, kann im Süden Deutschlands aufgrund der naturräumlichen Gegebenheiten mehr Wasserkraft genutzt

⁶ OECD: Organisation for Economic Co-operation and Development

⁷ EU-25: Europäische Union der 25 Mitgliedsstaaten

werden. In Bayern war der Anteil erneuerbarer Energien bis 2000 mit 6,9 % Primärenergie doppelt so hoch wie im deutschen Durchschnitt (StMWIVT 2001).

Abbildung 2: Anteile erneuerbarer Energien an der Energieversorgung* und Ziele für 2010



* Daten für 2001

(Datengrundlage: EU-Parlament et al. 2001; StMWIVT 2001; EU 2003)

Insgesamt stieg die installierte Leistung in der EU-15⁸ stark an, z.B. bei Windenergieanlagen zwischen 1995 und 2001 von 2,5 Gigawatt (GW) auf 17,2 GW, beziehungsweise 2/3 der weltweit installierten Leistung. Dies ist vor allem auf den Ausbau in Deutschland, Spanien und Dänemark zurückzuführen. Im gleichen Zeitraum stieg die installierte Fotovoltaikleistung um 560 %, wenngleich die gesamte installierte Leistung nur 0,3 GW betrug. Vorreiter der Fotovoltaik sind Deutschland, Italien, die Niederlande und Frankreich (Staiß 2003). Der Biokraftstoffbereich wurden um 250 % ausgebaut, erreichte jedoch nur 0,6 % am gesamten Kraftstoffmarkt (EU-Kommission 2004c).

Die neuen Mitgliedsstaaten der EU bauen die erneuerbaren Energien ebenfalls stark aus, allerdings auf niedrigerem Niveau. In der Tschechischen Republik wuchs ihr Anteil zwar jährlich um 17 %, umfasste aber in 2001 nur 1,5 %. Ähnlich gering war 2001 der Anteil in Ungarn mit 1,6 % und auch Polen trugen erneuerbare Energien nur 4,5 % bei. Die Steigerungsrate lag aber mit 10 % erheblich über dem europäischen Durchschnitt (IEA 2003).

2.1.3 Politik und Ziele für erneuerbare Energien

Das starke Wachstum der erneuerbaren Energien in Europa fußt auf einer umfassenden Förderung durch die Politik, die bereits vor 30 Jahren begründet wurde. Nach den Ölkrisen Anfang der 70er Jahre wurden vorwiegend in den Industrieländern Forschungsprogramme für erneuerbare Energien aufgelegt, um die Versorgungssicherheit zu verbessern (IEA 1987).

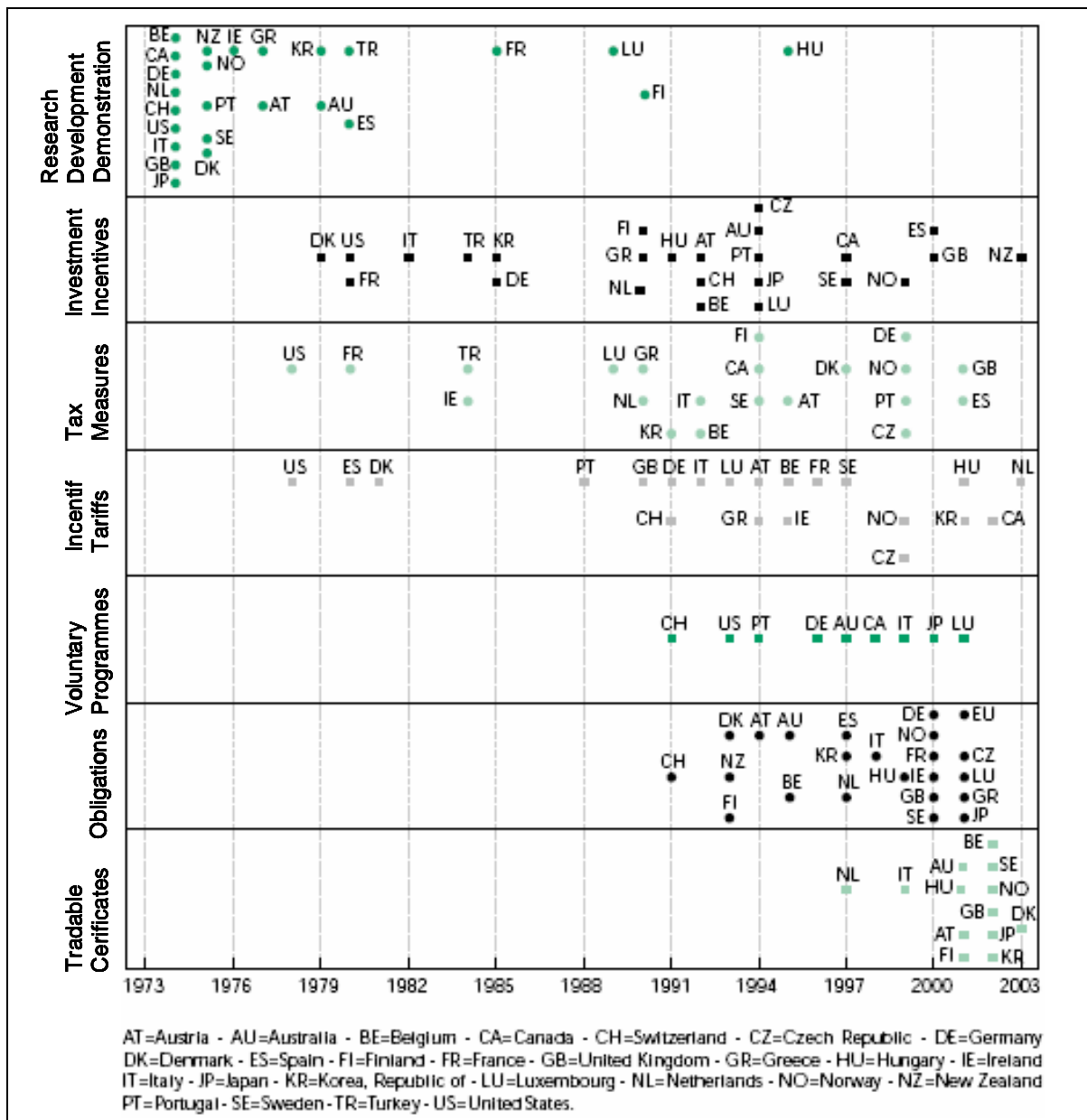
Nach einem Rückgang in den 80er Jahren wurden die Förderaktivitäten in den 90ern wieder verstärkt, als Umwelt- und Klimaschutz global auf der politischen Agenda erschienen. In der politischen Deklaration von Bonn (renewables 2004) bekannten sich schließlich die

⁸ EU-15: Europäische Union der 15 Mitgliedsstaaten

Regierungsvertreter erneut zu den Vereinbarungen von Rio und Johannesburg zum Verstärkten Ausbau erneuerbarer Energien.

Im Laufe dieses Prozesses führten viele Länder neue Politiken ein. Abbildung 3 zeigt deren zeitliche Entwicklung in den OECD-Ländern. Über die Förderung von Forschung und Entwicklung hinaus ergriffen zunächst nur einige Vorreiter wie Dänemark oder die USA weitere Maßnahmen.

Abbildung 3: Zeitlicher Überblick über die Förderung erneuerbarer Energien in OECD-Ländern



(Quelle: IEA 2004a)

Nach 1990 setzte die Förderung auch andere Länder vermehrt ein. Bis 2003 wurden in fast allen OECD-Ländern umfassende Maßnahmen von Investitionsförderung über Steuervergünstigungen bis hin zum Zertifikatehandel eingeführt.

Die EU veröffentlichte in ihrem Weißbuch eine Gesamtstrategie für erneuerbare Energien, wonach diese bis 2010 einen Anteil von 12 % an der Energieversorgung erreichen sollen. Für Strom und Treibstoff aus erneuerbaren Quellen gelten dabei Leitwerte von 22 % bzw. 5,75 % (EU-Kommission 1997). Um diese Ziele zu erreichen, verabschiedete die EU eine Reihe von Richtlinien:

In der Richtlinie zur Förderung der Stromerzeugung aus erneuerbaren Energiequellen im Elektrizitätsbinnenmarkt (EU-Parlament et al. 2001) sind für die Mitgliedsstaaten freiwillige Ziele für erneuerbaren Strom niedergelegt. Die Richtlinie zur Förderung der Verwendung von Biokraftstoffen oder anderen erneuerbaren Kraftstoffen im Verkehrssektor (EU-Parlament et al. 2003a) legt für 2010 das Ziel von 5,75 % Biotreibstoff fest. Zwar ist dies ebenfalls freiwillig, bei Nichterfüllung kann die EU aber die Ziele verbindlich vorschreiben. Um die Durchsetzung der biogenen Treibstoffe am Markt zu verbessern, können diese von der Mineralölsteuer befreit werden (EU-Parlament et al. 2003a). Die EU startete zudem eigene Förderprogramme wie ALTENER und ALTENER II mit Fokus auf der Beseitigung nicht-technischer Hindernisse für den Ausbau erneuerbarer Energien (EU-Kommission 2001b). Für die neuen Mitgliedsstaaten wurden Ziele für den Anteil erneuerbarer Energien im Beitrittsvertrag vereinbart. Mit dem so genannten *burden-sharing-agreement* wurde die angestrebte CO₂-Reduktion auf die verschiedenen Mitgliedsstaaten verteilt (Reiche 2002).

In Deutschland bestehen über 2010 hinaus langfristige Ziele: Bis 2020 sollen 20 % des Stroms und 2050 sogar 50 % des gesamten Primärenergiebedarfs aus erneuerbaren Quellen stammen (BMU 2005). Neben Investitionsbeihilfen und Forschungsförderung trägt dazu das Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG) bei, mit Mindestvergütungen und vorrangiger Abnahme für erneuerbaren Strom. Mit der Novelle 2004 wurde die Förderung erheblich ausgedehnt (EEG 2004).

Die neuen Mitgliedsstaaten der EU bemühen sich ebenfalls um eine Förderung der erneuerbaren Energien. In Polen ist dies seit 1991 ein politisches Ziel, wenngleich die Umsetzung bisher noch nicht weit vorangeschritten ist. Trotz der seit 1999 intensivierten Anstrengungen in Folge der Harmonisierung mit EU-Recht wird den erneuerbaren Energien nur ein langsames Wachstum vorhergesagt. Mittlerweile werden sie immerhin weniger benachteiligt, da Subventionen für *unökologische* Energie abgeschafft bzw. Öko- und Energiesteuern auf fossile Energieträger eingeführt wurden. Gleichzeitig wird der Ausbau erneuerbarer Energien durch Steuererleichterungen und aktive Förderung vorangetrieben. Bis 2010 und 2020 sollen 7,5 % bzw. 14 % Primärenergie aus erneuerbaren Quellen erzeugt werden (Lacny 2003).

In Tschechien werden die erneuerbaren Energien seit 2002 durch ein Einspeisungsgesetz mit einer Mindestvergütung für Strom gefördert. Daneben bestehen Programme zur Projektförderung (Safarik et al. 2003). Steuervergünstigungen und Investitionsförderung sollen ebenfalls dazu beitragen unter anderem den erneuerbaren Stromanteil bis 2010 auf 8% zu steigern (vgl. Thrän et al. 2004).

Bis 2010 soll Ungarn 6,5-7,2 % erneuerbarer Energien einsetzen (Marosvölgyi et al. 2003). Daher wird eine Vergütung für erneuerbaren Strom garantiert sowie die Steuerbefreiung und Bezuschussung von Biodiesel (vgl. Thrän et al. 2004).

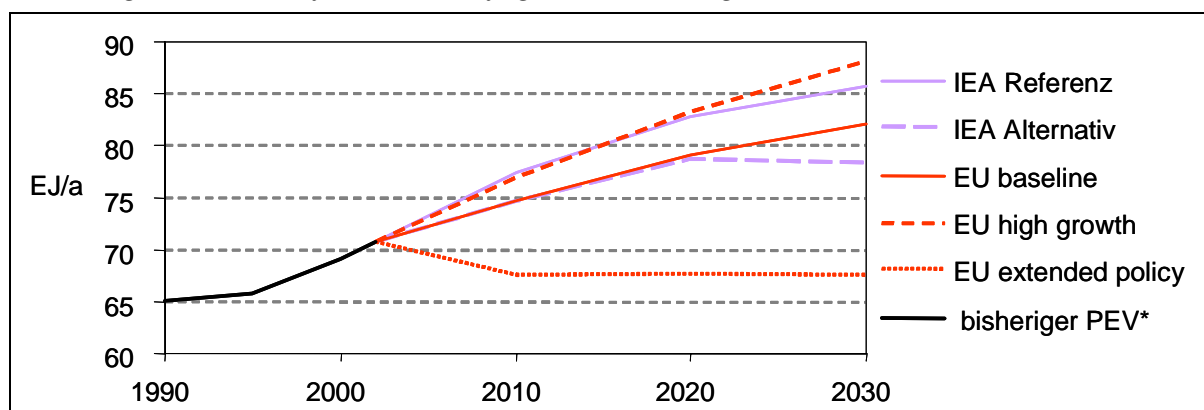
2.1.4 Zukünftige Entwicklung der Energienachfrage

Die Entwicklung der *Energienachfrage* stellt einen entscheidenden Faktor für die zukünftige Energieversorgung dar. Die Nutzung erneuerbarer Energien ist technisch und ökonomisch begrenzt. Der Anteil erneuerbarer Energien hängt daher auch von einer steigenden oder sinkenden Gesamtnachfrage ab.

Die Internationale Energieagentur (IEA) veröffentlicht im zweijährlich Langfristprognosen und -szenarien zum weltweiten Energieverbrauch, sowie für verschiedene Regionen, darunter die EU-25 (IEA 2004b). Der Primärenergieverbrauch wird in einem Referenzszenario fortgeschrieben, das aktuell umgesetzte Maßnahmen berücksichtigt. Wie die IEA selbst zeigt, wiesen frühere Prognosen zu Energiepreisen und Verbrauch erhebliche Ungenauigkeiten auf. Daher wird dem Referenzszenario ein Alternativszenario gegenübergestellt, das Maßnahmen für eine umweltfreundlichere und effizientere Energieversorgung berücksichtigt. Die EU ist in beiden Szenarien die Region mit dem geringsten Anstieg des Primärenergieverbrauchs, dieser beläuft sich bis 2030 auf über 20 % bzw. 10 % gegenüber heute (Abbildung 4).

Die Europäische Kommission untersucht im Bericht *European energy and transport* zahlreiche Szenarien zum zukünftigen europäischen Energieverbrauch (EU-Kommission 2004b). Neben der Weiterführung der aktuellen Politik (*EU baseline*) werden Auswirkungen des Wirtschaftswachstums, hoher Energiepreise, aber auch von politischen Maßnahmen zu Verbesserung der Effizienz der Energieversorgung untersucht. In Abbildung 4 sind der *EU baseline* die beiden Szenarien gegenübergestellt, die am weitesten von der Referenzentwicklung abweichen. *EU high growth* stellt die Auswirkung eines hohen Wirtschaftswachstums auf den Energieverbrauch dar. Im Szenario *EU extended policy* werden umfassende Maßnahmen im Energiesektor vorgenommen. Dies beinhaltet den Ausbau der erneuerbaren Energien, Effizienzverbesserungen, Förderung des Schienenverkehrs, Besteuerung des Energieverbrauchs und Emissionshandel.

Abbildung 4: Szenarien für den zukünftigen Primärenergieverbrauch der EU-25



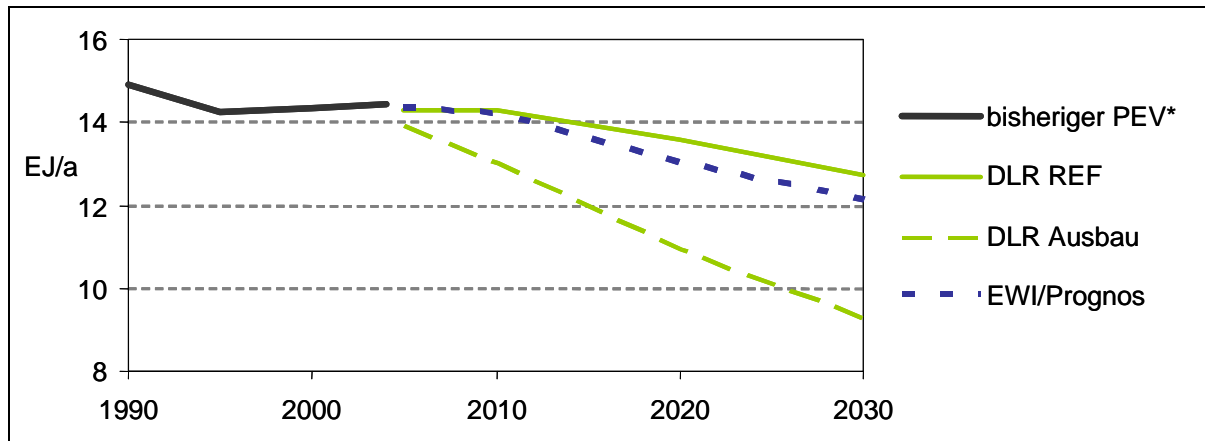
*PEV= Primärenergieverbrauch

(Quelle: EU-Kommission 2004b; IEA 2004b)

In den Szenarien wird meist mit steigendem Energieverbrauch in der EU gerechnet. Insgesamt geht die IEA von einem höheren Verbrauch aus als die EU-Kommission. Auch in deren Szenarien führt eine strenge politische Steuerung zu keinem erheblichen Rückgang des Energieverbrauchs. Im Falle eines hohen Wirtschaftswachstums könnte er bis 2030 dagegen um 25 % steigen.

Einzelne Länder weichen erheblich von diesem Durchschnittstrend ab. Dies zeigen die Szenarien und Prognosen, die den zukünftigen Energieverbrauch in Deutschland abschätzen. Abbildung 5 zeigt die Prognose des deutschen Energieverbrauchs der *EWI/Prognos-Studie* (Schulz et al. 2005) und die Szenarien des *Deutschen Zentrums für Luft- und Raumfahrt* (DLR) (Nitsch et al. 2004).

Abbildung 5: Szenarien für den zukünftigen Primärenergieverbrauch in Deutschland



PEV = Primärenergieverbrauch

(Quelle: BMWA 2004; Nitsch et al. 2004; Schulz et al. 2005)

Beide Studien ermitteln einen Rückgang des deutschen Primärenergieverbrauchs. Das Referenzszenario des DLR (DLR REF) stimmt relativ gut mit der Prognose nach Schulz et al. (2005) überein, bei dem der Primärenergieverbrauch von heute 14,4 EJ/a auf 12-13 EJ/a im Jahr 2030 sinkt (EWI/Prognos). Eine umfassende Effizienzstrategie, gekoppelt mit dem Ausbau erneuerbarer Energien führt im zweiten Szenario der DLR jedoch bis 2030 zu einem 30 % niedrigeren Energieverbrauch (DLR Ausbau).

Hier zeigen sich ähnlich große Unterschiede zwischen den Szenarien wie für Europa. Der deutsche Trend ist jedoch gegenläufig zum europäischen. Während der Energieverbrauch im Referenzszenario der EU um 16 % steigt, sinkt er nach DLR für Deutschland um 10 % ab.

Dies wird die Verteilung des Energieverbrauchs in Europa in den nächsten Jahren erheblich verändern. Im Jahr 2000 verbrauchte Deutschland 20 % der Primärenergie in der EU. Setzt man die Referenzszenarien für die EU und Deutschland voraus, so wird dieser Anteil bis 2030 auf 15 % sinken. Umso stärker steigt der Energieverbrauch in den übrigen Ländern.

Eine relativ starke Zunahme des Energieverbrauchs ermittelt das Referenzszenario der EU für die neuen Mitgliedsstaaten, die nach dem Zusammenbruch des Gesellschaftssystems 1990 zunächst einen starken Rückgang des Energieverbrauchs verzeichneten. In den nächsten Jahren wird es zu einer Konvergenz zwischen EU-15 und den zehn neuen Mitgliedsstaaten kommen, sowohl im Wirtschafts- als auch im Energiesektor. Der Abstand zur EU-15 wird bis 2030 aber wohl nicht vollständig aufgeholt werden (EU-Kommission 2004b).

Die mittel- und osteuropäischen Länder haben einen relativ geringen Anteil am Gesamtenergieverbrauch. Zusammen nutzen sie 12 % der Primärenergie der EU, weniger als Deutschland allein. Selbst im Szenario mit dem höchsten Verbrauchsanstieg werden sie den deutschen Energieverbrauch nicht übertreffen.

Die zukünftige Energienachfrage bildet damit den Rahmen, an dem der Beitrag der erneuerbaren Energien gemessen werden muss. Ob deren Anteil zukünftig wächst, hängt davon ab, ob ihre Nutzung schneller ausgebaut wird als die Energienachfrage. Über den Ausbau entscheiden neben Wirtschaftlichkeit und politischem Willen vor allem die Potenziale, welche die jeweiligen erneuerbaren Energieträger bieten. Für die landwirtschaftliche Biomasse in Form von Energiepflanzen und Reststoffen geht die vorliegende Arbeit dieser Frage nach.

2.2 Bedeutung der Biomasse als regenerative Energie

Die angestrebten Ziele werden nur erreicht, wenn alle erneuerbaren Energien ihren Beitrag zur Energieversorgung leisten. Der wichtigste Zuwachs wird in Europa von der Biomasse erwartet. Um die vorhandenen Potenziale zu nutzen, wurde von der EU eine Initiative zum verstärkten Einsatz von Bioenergie gestartet (EU-Kommission 1997). Vor der Einführung des Modells HEKTOR zur Quantifizierung dieser Potenziale für die Landwirtschaft werden nachfolgend zunächst die aktuelle Nutzung sowie die institutionellen und technischen Rahmenbedingungen der Biomassenutzung vorgestellt. Im Vergleich zu anderen erneuerbaren Energien ist die Biomasse sowohl in der Bereitstellung als auch in der Nutzung sehr vielseitig.

Definition von Biomasse

Biomasse umfasst die Gesamtheit aller organischen Stoffe. Diese bestehen zum Großteil aus kohlenstoffhaltigen Verbindungen, die von Pflanzen durch Photosynthese aufgebaut werden. Dabei werden aus den niederenergetischen Molekülen CO_2 und H_2O mit der Energie des Sonnenlichts höherenergetische Verbindungen aufgebaut, die die Pflanze als Baustoff oder Energiespeicher benutzt. Biomasse stellt also gespeicherte Solarenergie dar.

Als Biomasse werden lebende und abgestorbene Pflanzenteile bezeichnet sowie die Stoffe, die bei der Nutzung der Biomasse und beim Abbau der organischen Substanz als Zwischenprodukte entstehen. Biomasse im Sinne eines erneuerbaren Energieträgers ist nur das, was sich innerhalb menschlicher Dimensionen erneuert. Damit gilt bereits Torf als nicht erneuerbar (Kaltschmitt et al. 2001).

2.2.1 Derzeitige Biomassenutzung

Biomasse liefert weltweit knapp 80 % der erneuerbaren Energie. Der größte Teil wird in traditioneller Weise genutzt, die aus Sicht der Nachhaltigkeit und der Technologie von der modernen Biomassenutzung unterschieden werden muss.

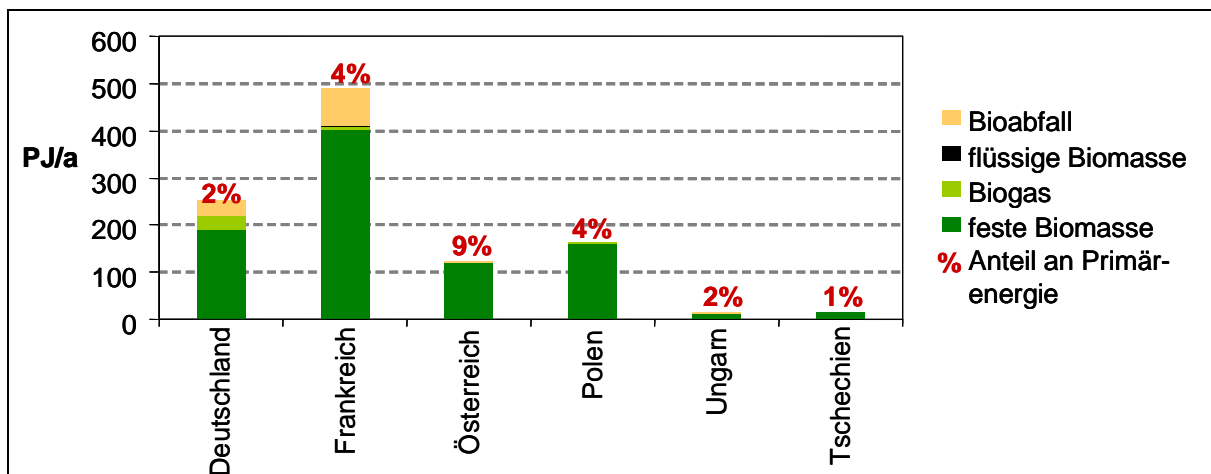
Die traditionelle Biomassenutzung durch direkte Verbrennung ist die älteste Form der Energiebereitstellung und gilt zugleich als die Energieversorgung der Armen, da sie günstig ist und keine Aufbereitungsschritte benötigt. Allerdings gehen damit häufig Probleme einher, wie Schadstoffbelastung der Raumluft, Abholzung von Primärwäldern, Landdegradation etc., weswegen die traditionelle Biomassenutzung oft nicht als nachhaltig gelten kann (UNEP 1991; Karekezi et al. 2004). Sie hat ihren Schwerpunkt in Afrika und Asien, wo 2001 78 % der Biomassenutzung stattfand. In Afrika, Asien und Lateinamerika trug sie 49 % bzw. 25 % und 18 % zur gesamten Energieversorgung bei (IEA 2003).

Moderne Biomassenutzung setzt dagegen hoch entwickelte Technologien ein, die verschiedenste Biomassen vergleichsweise effizient in elektrischen Strom, Wärme und Treibstoff

umwandeln. Sie weisen verstärkt die beschriebenen ökologischen und sozialen Vorteile auf, z. B. beim CO₂-Ausstoß und der ländlichen Entwicklung, und tragen zu einer nachhaltigen Energieversorgung bei. In vielen industrialisierten Ländern wird vermehrt auf diese modernen Biomassetechnologien gesetzt (Karekezi et al. 2004). Innerhalb der vorliegenden Arbeit wird daher davon ausgegangen, dass der Ausbau der Biomassenutzung in den betrachteten Regionen zukünftig nur mit modernen Technologien erfolgt.

In der EU-15 nahm die Bioenergienutzung zwischen 1995 und 1998 um 13,5 % zu, mit Schwerpunkten in wenigen Mitgliedsstaaten wie Italien (+94 %) und Deutschland (+57 %). Damit ist der Biomassektor in Westeuropa doppelt so schnell gewachsen wie weltweit (EU-Kommission 2004c). Abbildung 6 zeigt den Biomassebeitrag zur Energiebereitstellung in ausgewählten Mitgliedsstaaten. Holz dominiert, vor allem als Festbrennstoff im Haushalt. Frankreich, Österreich, Italien und Deutschland sind hier Spitzenreiter in Europa (Roubanis 1998). Noch unbedeutend, aber im Wachsen begriffen sind die Biokraftstoffe. Seit 1992 hat sich die Produktion in der EU-15 verzehnfacht, wenngleich der Marktanteil noch sehr gering ist. Nur in Frankreich erreichte er immerhin 1,3 %.

Abbildung 6: Biomasseanteil in der Energieversorgung ausgewählter Länder



(Datengrundlage: IEA 2003)

In den neuen Mitgliedsstaaten findet vorwiegend traditionelle Brennholznutzung statt, moderne Biomasseheizanlagen wurden noch kaum installiert. Ebenso wenig werden andere Energieträger wie Biogas und Biotreibstoffe genutzt (vgl. Abbildung 6). In Tschechien trägt die Biomasse auch gerade einmal 1,4 % der Energieversorgung (Thrän et al. 2004). Der gesamte Bioenergieeinsatz in den neuen Mitgliedsstaaten liegt derzeit noch unter dem EU-Durchschnitt.

2.2.2 Politik für die Biomasse

Wie für die übrigen erneuerbaren Energien sind Fördermaßnahmen auch bei Biomasse für die Marktentwicklung derzeit noch von großer Bedeutung. Neben der Einbettung in die Förderung der erneuerbaren Energien wird die Biomasse auch speziell gefördert. Bereits genannt wurden die beiden Richtlinien zur Förderung der biogenen Treibstoffe der EU, die den Anteil der im Verkehr eingesetzten Biokraftstoffe bei Diesel und Benzin von 0,6 % (2002) bis 2010 auf 5,75 % steigern sollen (EU-Parlament et al. 2003b; a). Mit dem neu

vorgelegten Aktionsplan für Biomasse will die EU die Förderung der Biomassenutzung noch stärker vorantreiben (EU-Kommission 2005a).

Thrän et al. (2004) liefern eine umfassende Analyse der aktuellen Nutzung der Biomasse in Europa (vgl. Tabelle 1). Im Strombereich profitiert die Biomasse insbesondere von Einspeisevergütungen und der allgemeinen Förderung erneuerbarer Energien. In Anlehnung an die EU-Richtlinie besteht in Deutschland, Ungarn und der Tschechischen Republik eine Steuerbefreiung für Biotreibstoffe bzw. Biodiesel. Auch in Polen trat am 1. Januar 2004 ein Gesetz zur Förderung von Biokraftstoffen in Kraft (Lacny 2003; EU-Kommission 2004c).

Tabelle 1: Institutionelle Rahmenbedingungen für die Biomasse im Überblick

Land	Ziele 2010 [%]		Förderinstrumente Biomasse in den Bereichen Strom (S), Wärme (W), Kraftstoffe (K)				
	Bio- kraft- stoff	erneuer- baren Strom	Einspeise- vergütung, Zuschuss	Steuer- vergünsti- gungen	Quoten, Beimi- schung	Investi- tions- förderung	Gesetz- gebung
Polen	5,75	7,5	S, W, K	S	S, K	S, W	EEG* in Planung
Tschechien		8	S, K	S, W, K		W	EEG* 2005
Ungarn		3,6	S, K	K		W	Aktions- programm 2000
Deutsch- land		12,5	S	W, K		S, W	EEG* 2000/2004

* Erneuerbare Energien Gesetz

(Quelle: Thrän et al. 2004)

Der Wärmesektor wird bisher wenig gefördert, hauptsächlich durch Investitionsförderung. In Tschechien bestehen zudem Steuererleichterungen. Allein Polen bietet auch für Wärme eine (verhandelbare) Einspeisevergütung. Neben Biomassenutzung und Anlagenbau muss die Bereitstellung geeigneter Biomasse gewährleistet werden. Insbesondere in Ungarn, der Tschechischen Republik, der Slowakischen Republik, Lettland, Litauen und Estland werden die Potenziale zur Strom- und Wärmeerzeugung aus Biomasse bisher kaum genutzt.

In Europa gilt die Landwirtschaft als ein Schlüsselsektor der Biomassebereitstellung, wenn der Anteil erneuerbarer Energien bis 2010 verdoppelt werden soll. Insbesondere sollen im Rahmen der Gemeinsamen Agrarpolitik (GAP) Anbauflächen für Energiepflanzen zur Verfügung gestellt werden (EU-Kommission 1997). Mit der Umsetzung der Reform der GAP von 1992 wurde der Anbau von Energiepflanzen auf stillgelegten Flächen ermöglicht (UFOP 1994). Zusätzlich wurde mit der Fischler-Reform 2003 eine Prämie für Energiepflanzen eingeführt (Rat der EU 2003).

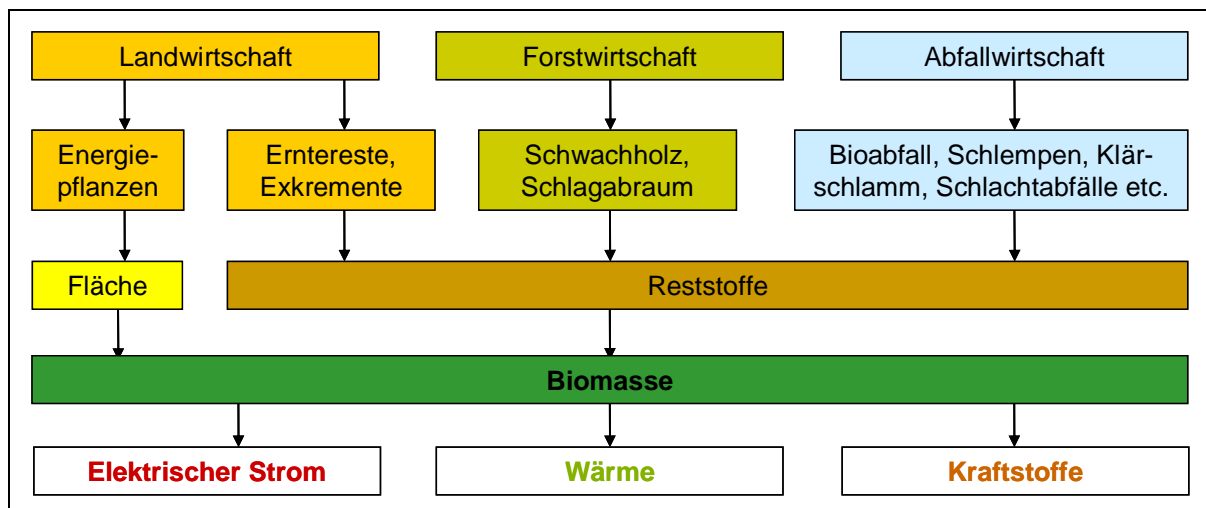
2.3 Biomassequellen

Für Biomasse gibt es verschiedene Quellen: Landwirtschaft, Forstwirtschaft oder Abfallwirtschaft (Abbildung 7). Entlang ihrer Entstehung kann Biomasse in Reststoffe und speziell angebaute Energiepflanzen unterteilt werden.

Für die energetische Nutzung der Biomasse, der häufig verschiedene Konversionsstufen vorgeschaltet sind, besteht ein Pool an Technologien. Fast alle Bioenergieträger lassen sich

für Strom- und Wärmeerzeugung einsetzen. Da die Energie meist durch Verbrennung freigesetzt wird, ist eine Verbindung von Strom- und Wärmeerzeugung mit Kraft-Wärme-Kopplung oft die effizienteste Nutzung. Als Treibstoff eignen sich derzeit vorwiegend Pflanzenöle und Ethanol sowie Biogas, soweit es in erdgasgetriebenen Fahrzeugen eingesetzt wird. Mit den *Biomass-to-Liquid-Technologien* könnten zukünftig auch andere trockene Biomasse wie z. B. Holz in Treibstoffe umgewandelt werden.

Abbildung 7: Überblick über die verschiedenen Biomassequellen



In den letzten Jahren wurden viele Technologien weiterentwickelt und für zahlreiche Anwendungsfälle variiert. Für Details zur Verfahrenstechnik sei auf weiterführende Fachliteratur verwiesen (Wintzer et al. 1994; Kaltschmitt et al. 1997a; FNR 2000; Hartmann et al. 2002; Fritsche et al. 2004a).

Die Wahl der eingesetzten Technologie hängt aber nicht nur von der Art der Biomasse ab, sondern auch von ökologischen, ökonomischen und gesellschaftlichen Randbedingungen. Eine detaillierte Analyse für Deutschland bietet die *Stoffstromanalyse zur nachhaltigen energetischen Nutzung von Biomasse* (Fritsche et al. 2004a).

2.3.1 Abgrenzung von Biomasse aus Forst- und Abfallwirtschaft

Im Fokus der Arbeit steht der Biomassebeitrag der Landwirtschaft. Daher muss nun die Biomasse aus Forst- und Abfallwirtschaft von der landwirtschaftlichen Biomasse abgegrenzt werden. Anschließend wird die landwirtschaftliche Biomasse in Form von Reststoffen und Anbaubiomasse beschrieben, die in die Potenzialermittlung eingeht.

Forstwirtschaft

Die Forstwirtschaft ist als Produzent von Holz aus Wäldern ein klassischer Bereitsteller für Biomasse. Die Hauptprodukte sind Stammholz und Industrieholz für die stoffliche Nutzung, z. B. als Bauholz oder zur Möbelherstellung. Da die stoffliche Verwertung die höherwertige Nutzung ist, stehen zur Energieerzeugung die Holzsortimente zur Verfügung, für die es in der Regel keine stoffliche Verwendung gibt (Fritsche et al. 2004a).

Bei der Bewirtschaftung von Wäldern fällt Waldrestholz als Reststoff ohne stoffliche Verwertung an. Dazu zählt Schwachholz aus Durchforstungsmaßnahmen und Schlagabraum

bei der Ernte von Stammholz. Ein Teil der Erntereste, z. B. der Stock verbleibt aus technischen und ökologischen Gründen im Wald und wird nicht zum Waldrestholz gezählt. Die Trenngrenze zwischen Industrie- und Waldrestholz ist unscharf, da sie vom ökonomisch sinnvollen Mindestdurchmesser, der so genannten Aufarbeitungsgrenze abhängt (Kaltschmitt et al. 2001). Die in der Holzindustrie anfallenden Reststoffe sind häufig bereits in die betriebsinterne Energiegewinnung eingegliedert (Frühwald 1990).

Abfallwirtschaft

Der Großteil der stofflich genutzten Biomasse fließt über die Nutzungskaskade schließlich in die Abfallwirtschaft. Als Biomasse gelten daher auch der organische Anteil des Hausmülls, Klärschlamm und Klärgas. In Industrie und Gewerbe entsteht ebenfalls Bioabfall, z. B. in lebensmittelverarbeitenden Betrieben, wo Obst-, Gemüsereste, Molke, Trester und Schlempen anfallen. Auch andere Industriezweige, wie die Papierindustrie, produzieren organische Abfälle. Einige dieser Rest- und Abfallstoffe werden stofflich, z. B. als Tierfutter genutzt. Die verbleibende Biomasse kann energetisch genutzt werden (Hartmann et al. 2002).

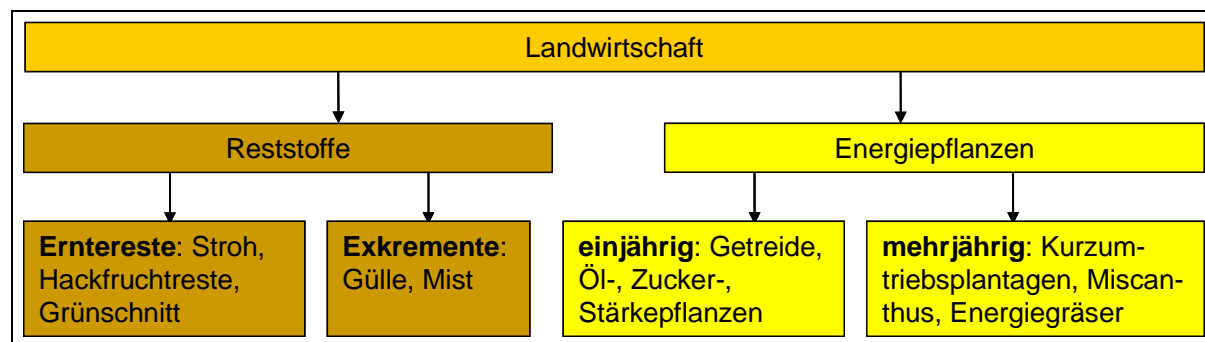
Auch Bauholz oder Möbel etc. können als Altholz und damit als Biomasse energetisch genutzt werden. Zur Biomasse zählt auch die Zoomasse, also Tierkadaver, Tierkörperenteile und Schlachtabfälle. Außerdem entsteht in Deponien aus der abgelagerten Biomasse durch mikrobiellen Abbau Methan, das für die Energieerzeugung genutzt werden kann (Fritsche et al. 2004a).

Neben der stofflichen Nutzung können Reststoffe auch bei der Bereitstellung und Pflege von Naturschutz- und Erholungsflächen in Form von Landschaftspflegegut anfallen. Teilweise müssen die Landschaftspflegereste aus Naturschutzgründen von den Flächen abgefahren werden. Da die Entsorgung unter Umständen recht kostspielig ist, können aus einer energetischen Nutzung sogar ökonomische Synergien entstehen (Nitsch et al. 2004).

2.3.2 Reststoffe und Anbaubiomasse aus der Landwirtschaft

Für die Landwirtschaft werden Reststoffe und Anbaubiomasse getrennt betrachtet (vgl. Abbildung 8). Während der Aufwand zur Biomassebereitstellung bei Reststoffen dem Hauptprodukt zugeschlagen werden kann, muss bei Energiepflanzen der Aufwand für den Anbau sowohl ökonomisch als auch ökologisch berücksichtigt werden.

Abbildung 8: Formen landwirtschaftlicher Biomasse



In der landwirtschaftlichen Flächennutzung steht die Produktion von tierischen und pflanzlichen Nahrungsmitteln im Vordergrund. Dabei entstehen Nebenprodukte, die als Energie-

träger zur Verfügung stehen, sofern sie nicht stofflich als Lebens- oder Futtermittel bzw. Rohstoff genutzt werden. In welchem Umfang Reststoffe anfallen ist direkt von der Nahrungsmittelproduktion abhängig und wird mit dem entwickelten Model HEKTOR quantifiziert (vgl. Kapitel 4.3.4). Die Technologien zur Bereitstellung und Nutzung landwirtschaftlicher Reststoffe werden von Hartmann et. al. (2002), Kaltschmitt et. al. (2001) und Leible et. al. (2003) detailliert beschrieben.

Nebenprodukte im Pflanzenbau

Im Pflanzenbau entstehen Erntereste als Nebenprodukte. Bei körnerliefernden Kulturen ist das Hauptprodukt das Korn, das bei der Ernte gedroschen wird und den stofflichen wie ökonomischen Ertrag der Ackerfrucht darstellt. Alle übrigen Pflanzenteile sind Nebenprodukte, die nur wenig genutzt werden und selten einen Verkaufserlös erzielen.

Stroh macht den Hauptanteil unter den Ernteresten aus, insbesondere Getreidestroh, das im Gegensatz zu Stroh von Ölfrüchten, Körnerleguminosen und Körnermais relativ einfach zu ernten ist. Für letztere existieren bisher noch kaum geeignete Technologien zur energetischen Nutzung. Stroh dient bisher als Einstreu in der Tierhaltung. Ein großer Teil wird aber mangels Alternativen nach der Ernte in den Boden eingearbeitet. Hier deckt es mehr als den Mindestbedarf, der zur Nährstoffrücklieferung und Humusdüngung nötig ist. Um die Nachhaltigkeit der Produktion zu gewährleisten, kann das Stroh nur dann energetisch genutzt werden, wenn dies nicht mit den genannten stofflichen Nutzungen in Konkurrenz tritt (Fritsche et al. 2004a).

Das Modell HEKTOR betrachtet vorwiegend *Getreidestroh* für die Energieerzeugung – unter Berücksichtigung der Konkurrenznutzungen als Einstreu und Dünger. Andere Strohsorten z. B. von Mais und Ölsaaten werden nur bei erheblichen Anbauflächen berücksichtigt. Bei kleineren Flächenanteilen werden sie vernachlässigt und vollständig zur Nährstoff- und Humusrücklieferung auf dem Feld angerechnet. Energetisch wird Stroh üblicherweise durch Verbrennung genutzt. Nutzungsalternativen sind mikrobielle Vergärungen, die aber nur einen Teil des Energiegehalts ausnützen.

Bei der Ernte von Hackfrüchten – Kartoffeln und Zuckerrüben – fällt die Blattmasse als Reststoff an, die meist auf dem Feld verbleibt. Nur Zuckerrübenblätter finden gelegentlich noch Verwendung in der Rinderfütterung. Die ungenutzte Biomasse kann zur Energieerzeugung verwendet werden (Hartmann et al. 2002).

Kartoffelkraut und Rübenblätter enthalten vergleichsweise viel Wasser und zählen zur feuchten Biomasse. Bei den heute üblichen Vollerntern wird in einem Arbeitsgang das Erntegut geborgen und von Kraut und Blättern abgetrennt. Diese Abtrennung ermöglicht es, die Blattmasse getrennt zu erfassen und z. B. mit einem Ladewagen mit Aufnahmevorrichtung zu bergen. Die hohen Wassergehalte der Rübenblätter bedingen nach der Ernte eine umgehende Verarbeitung bzw. Konservierung der Reststoffe. Lagerfähigkeit kann durch Silieren erreicht werden, ein Verfahren, das auch bei der Verfütterung von Rübenblatt üblich ist. Feuchte Biomasse ist vorwiegend für die Vergärung zu Biogas geeignet.

Eine Zwischenstufe zwischen Landschaftspflegegut und Reststoffen aus dem Pflanzenbau stellt ungenutzter Grünlandaufwuchs dar. Entsprechend der Agrarreform von 2003 soll die Dauergrünlandfläche zukünftig auf dem derzeitigen Niveau erhalten bleiben (EU-Kommission 2004e). Um das Grünland in einem angemessenen landwirtschaftlichen Zustand

zu erhalten, ist eine Mindestpflege z.B. durch Mahd oder Beweidung nötig. Kann dieses Grüngut nicht in der Nutztierfütterung verwertet werden, so steht es zur Energieerzeugung zur Verfügung.

Grünschnitt kann sowohl trocken als auch feucht gewonnen werden, analog der Grasernte für die Viehfütterung. In trockener Form ist Heu als Festbrennstoff geeignet. Alternativ kann Grünschnitt auch als feuchte Biomasse siliert und als Kosubstrat zur Biogasgewinnung genutzt werden.

Nebenprodukte der Tierhaltung

Bei der Haltung landwirtschaftlicher Nutztiere fallen vorwiegend Exkreme an. Da die Tiere nur einen Teil der Energie verdauen, kann der ausgeschiedene Rest energetisch genutzt werden. Je nach Haltungform der Nutztiere fallen die Exkreme zusammen mit Einstreu und Futterresten als Gülle oder Festmist an, die als Wirtschaftsdünger ausgebracht werden und damit den Nährstoffkreislauf schließen. Dazwischen kann eine Vergärung zu Biogas erfolgen, welche die Restenergie nutzt.

Anbau von Energiepflanzen

Die Landwirtschaft bietet neben den Reststoffen auch die Möglichkeit, gezielt Energiepflanzen anzubauen. Der Aufwand für die Bereitstellung ist wesentlich höher, da der Energie *als Hauptprodukt* der gesamte Aufwand für Bestellung und Ernte zugeschlagen werden muss. Die Bereitstellung ist flexibler, da sie nicht an die Nahrungsmittelproduktion gekoppelt ist.

Da die Anbauflächen begrenzt sind, steht die Biomasseerzeugung in Konkurrenz zu Nahrungsmittelerzeugung und anderen Formen der Flächennutzung. Die Nahrungsproduktion hat jedoch gegensätzliche Effekte auf Anbaubiomasse und Reststoffe. Bei rückläufiger Nahrungsmittelerzeugung fallen weniger Reststoffe an, die verfügbaren Flächen für Energiepflanzen nehmen dagegen zu. Derselbe Zusammenhang gilt umgekehrt. Um die mögliche Energieerzeugung aus der Landwirtschaft zu ermitteln, ist daher eine integrierte Betrachtung der verschiedenen Flächennutzungen nötig.

Beinahe alle klassischen einjährigen Ackerkulturen eignen sich für eine energetische Nutzung. Welche Kultur jeweils angebaut wird, hängt einerseits von ihrem Ertragspotenzial, andererseits von der gewünschten Energieform ab. Zu den einjährigen Energiepflanzen zählen vorwiegend Kulturen, die auch für die Nahrungsproduktion angebaut werden:

- Getreide: Alle Arten, auch Mais
- Ölpflanzen: Vorwiegend Raps und Sonnenblumen
- Zucker- und Stärkepflanzen: Zuckerrüben und Kartoffeln

Die Bestellung unterscheidet sich kaum von den üblichen Methoden (Wintzer et al. 1993; Schön et al. 1998). Für wenigen Besonderheiten beim Anbau der Kulturen zur Energieerzeugung siehe Lewandowski (2001).

Eine Mischform der Energiepflanzenerzeugung stellen die Feuchtgutlinien dar. Dieses relativ neue Anbauverfahren kombiniert den Anbau mehrerer Kulturen auf derselben Fläche im Jahresverlauf und dient der Bereitstellung von feucht-konservierter Biomasse. Zunächst wird eine klassische Winterfrucht angebaut (z. B. Wintergerste, Winterroggen oder Winterraps).

Die Ernte der Erstkultur erfolgt relativ früh. Etwa 30 Tage vor der vollständigen Reife ist bereits der Hauptertrag an Biomasse gebildet. Im Anschluss daran wird eine Sommerkultur wie Mais, Sonnenblumen oder Hanf angebaut, um die verbleibende Vegetationszeit mit einer zweiten Ernte zu nutzen. Wie die Erstkultur wird auch die Zweitkultur als Grünmasse geerntet und zur Konservierung siliert. Die energetische Nutzung kann über die Vergärung zu Biogas oder nach einer weiteren Aufbereitung, z. B. durch Entwässern erfolgen. Feuchtgutlinien liefern durch die beiden Ernten sehr hohe Trockenmasseerträge. Gleichzeitig können Pflanzenschutzmaßnahmen, z. B. chemische Unkrautbekämpfung reduziert werden (Scheffer 1991; Heinz et al. 1999).

Mehrfährige Energiekulturen sind eine weitere Option. Ein hohes Ertragspotenzial bietet der Anbau spezieller Energiegräser. Ebenso weisen viele der üblicherweise für die Wiederkäuerernährung angebauten Grasarten hohe Biomasseerträge auf. Die Ernte erfolgt mit den für Gras üblichen Erntetechniken aus der Tierhaltung, als Heu zur Festbrennstoffnutzung oder als Grassilage zur Vergärung. Geeignete Arten sind Weidelgras, Knaulgras und Rohrschwengel, weswegen sich der Grasanbau für verschiedenste Standorte eignet. Üblicherweise werden diese Gräser über 2 - 3 Jahre genutzt, bevor sie umgebrochen werden. Aufgrund der relativ kurzen Anbaudauer lassen sich Energiegräser gut in die üblichen Fruchtfolgen eingliedern (Kaltschmitt et al. 2001).

Schwieriger ist dies bei den neueren Energiekulturen, die über viele Jahre genutzt werden und Flächen dauerhaft belegen. Eine dieser neuen Kulturen ist *Miscanthus* (Chinaschilf). Dieses mehrjährige Gras kann mit einer Höhe von bis zu vier Metern erhebliche Biomasseerträge liefern.

Geerntet wird jährlich im ausgehenden Winter bei höchsten Trockenmassegehalten. Die Nutzung erfolgt als Festbrennstoff und die Nutzungsdauer wird auf 20 - 25 Jahre geschätzt. Bei geringen Bodenansprüchen benötigt es aber eine gute Wasserversorgung und verträgt nur geringen Frost (Hartmann et al. 2002).

Schnellwachsende Baumarten werden in so genannten Kurzumtriebsplantagen angebaut. In Mitteleuropa gehören dazu Pappel und Weide. Für die Anpflanzung und Ernte werden Spezialmaschinen benötigt, die sich aus konventionellen landwirtschaftlichen Erntemaschinen entwickelt haben. Mit so genannten Hackgutvollerntern kann Fällen, Hacken und Laden in einem Arbeitsgang erledigt werden. Die Ernte erfolgt alle 3 - 4 Jahre im Winter, wenn die Bäume ohne Laub sind und der Boden gefroren ist. Die Gesamtnutzungsdauer wird auf 25 - 30 Jahre veranschlagt. Produziert werden Holzhackschnitzel, die als Festbrennstoff dienen (Hartmann et al. 2002).

Die vorgestellten Kulturen können nach Bedarf auf den verfügbaren Flächen angebaut werden. Je nach Ertragspotenzial beeinflussen sie das mögliche Angebot an Biomasse. Neben der Kulturart ist die verfügbare Fläche der entscheidende Faktor für das Biomassepotenzial. Die Ermittlung dieser Fläche und daraus resultierenden Energiepotenziale wird in den folgenden Kapiteln 3 bis 6 ausführlich beschrieben.

3 Biomassepotenziale in der Literatur

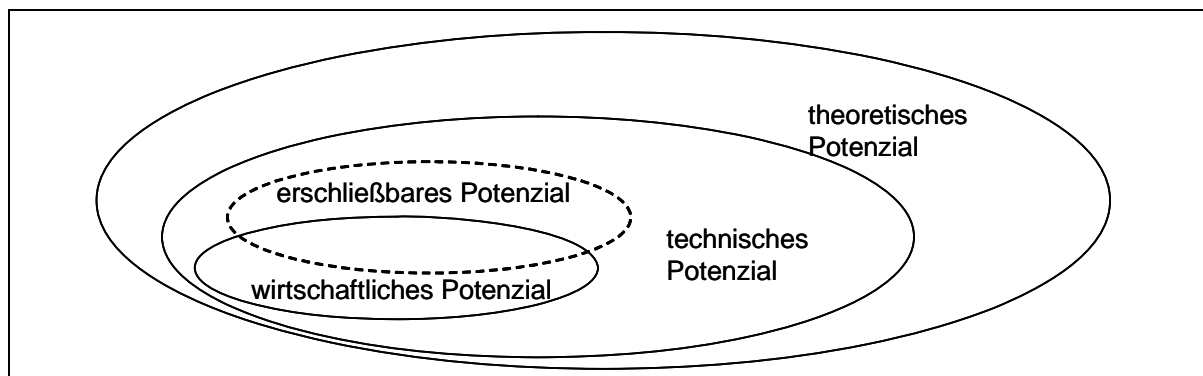
Zahlreiche Biomasetechnologien sind bereits weit entwickelt. Einige sind – je nach Preis für fossile Energien – schon an der Wirtschaftlichkeitsschwelle (Fritsche et al. 2004a). Die technischen Voraussetzungen für einen schnell steigenden Biomasseanteil an der Energieversorgung sind somit gegeben. Die Europäische Union setzt daher große Hoffnungen in die Biomasse, um den Anteil der erneuerbaren Energien zukünftig stark zu steigern (EU-Kommission 2001b). In Deutschland wird von Biomasse in der nächsten Dekade ein ähnlicher Aufschwung erwartet, wie ihn die Windenergie derzeit erlebt (BMU 2004a).

Der Ausbau hängt neben den ökonomischen Rahmenbedingungen stark vom Potenzial – also der Verfügbarkeit – von Anbaubiomasse und Reststoffen ab. Dabei müssen Konkurrenzen um Flächen mit der Nahrungsmittelproduktion, aber auch mit dem Naturschutz und der Bautätigkeit berücksichtigt werden. Zudem muss die Biomasseerzeugung möglichst umwelt- und naturschonend erfolgen, um Raubbau an Umwelt und Nahrungsressourcen zu verhindern (Johansson et al. 2004). Die Herausforderung ist also eine *nachhaltige* Erzeugung und ein *nachhaltiges* Management für die Biomasse, um das Gesamtpotenzial angemessen zu verteilen.

3.1 Der Potenzialbegriff

Potenziale werden je nach Rahmenbedingungen und Vorgaben unterschiedlich abgegrenzt. Üblich ist eine hierarchische Unterteilung (Abbildung 9). Diese geht von der Entstehung des Potenzials aus und untergliedert hin zur tatsächlichen Nutzung, die auch die Nachfrage nach Energie berücksichtigt.

Abbildung 9: Hierarchie der Potenzialbegriffe



(Quelle: Eigene Darstellung nach Kaltschmitt et al. 2001)

Als *theoretisches Potenzial* wird das physikalisch vorhandene Energieangebot innerhalb einer Region und in einem bestimmten Zeitraum bezeichnet. Begrenzt wird dieses physikalisch durch die Umsetzung der Sonneneinstrahlung auf der Erde durch die Photosynthese, also dem jährlichen Biomassezuwachs. Dieser Wert unterliegt zahlreichen Nutzungsbeschränkungen, z. B. hinsichtlich der Erreichbarkeit und Transportfähigkeit. Daher hat das theoretische Biomassepotenzial nur geringe Aussagekraft.

Stattdessen greift man auf das *technische Potenzial* zurück, das diese Beschränkungen berücksichtigt. Es beschreibt den Anteil der Biomasse, der unter den gegebenen technischen,

strukturellen und ökologischen Vorgaben verfügbar ist. Das technische Potenzial stellt das *Biomasseangebot* dar, das realisierbar ist.

Das *wirtschaftliche Potenzial* beschreibt, wie viel Biomasse unter den jeweiligen wirtschaftlichen Bedingungen genutzt wird. Es wird durch die wirtschaftlichen Rahmenbedingungen für einen Zeitraum und eine Region bestimmt und impliziert die Nachfrage nach Bioenergie. Das wirtschaftliche Potenzial berücksichtigt Marktmechanismen, wie etwa die Preisfindung durch Angebot und Nachfrage, nicht nur für die Biomasse, sondern auch für assoziierte Märkte.

Dem wirtschaftlichen wird noch das *erschließbare Potenzial* untergeordnet, das z. B. auch administrative Restriktionen oder Fördermechanismen berücksichtigt. Dieses Potenzial kann unter oder über dem wirtschaftlichen liegen (vgl. auch Kaltschmitt et al. 2001).

Aufgrund der gemeinsamen Betrachtung von Angebot und Nachfrage unterliegen wirtschaftliche und erschließbare Potenziale starken Schwankungen. Änderungen in anderen Sektoren, z. B. bei der Subventionierung fossiler oder anderer erneuerbarer Energien beeinflussen den Preis und die Nachfrage nach Biomasse erheblich. Ein Politikwechsel im Bereich Bioenergie kann zu einer Ausdehnung der Förderung und folglich der Bioenergieerzeugung führen oder Hemmnisse aufbauen, indem Genehmigungsverfahren verschärft werden.

In der vorliegenden Arbeit wird daher das *Angebot* an Biomasse betrachtet, das für die Energieerzeugung unter gegebenen Rahmenbedingungen in der Landwirtschaft verfügbar ist. Im Sinne eines *technischen Potenzials* werden die technischen, strukturellen und ökologischen Restriktionen berücksichtigt, die Bedingungen einer nachhaltigen Biomassenutzung sind. Diese Nachhaltigkeitskriterien erfordern gleichzeitig eine Betrachtung von Konkurrenz außerhalb des Biomassesektors, die über eine rein technische Analyse hinausgehen. So gestalten insbesondere der Nahrungsmittelsektor und die Agrarmärkte, aber auch gesellschaftliche Anforderungen, wie für den Naturschutz, den äußeren Rahmen, in den die Biomassenutzung eingebettet werden muss.

3.2 Methoden zur Abschätzung von Biomassepotenzialen

Bevor in Kapitel 4 das Modell HEKTOR eingeführt wird, folgt nun ein Überblick über bisherige Potenzialabschätzungen mit ihren Vor- und Nachteilen. Analog zur Biomassebereitstellung und den Nutzungstechnologien werden die Potenziale meist getrennt nach Reststoffmengen und Flächenpotenzialen für Energiepflanzen ermittelt. Dies liegt darin begründet, dass die Anbaubiomasse prinzipiell mit Nahrungsmitteln konkurriert, im Gegensatz zu den Reststoffen, bei welchen Synergien mit der Nahrungsmittelproduktion bestehen.

Im räumlichen Fokus wird zwischen globalen und regionalen Potenzialen unterschieden. Globale Betrachtungen haben den Gesamtbeitrag der Bioenergie zur Weltenergieversorgung im Blick. Sie zielen auf die mögliche Einsparung von Klimagasen etc. ab. Regionale Betrachtungen berücksichtigen eher die jeweiligen technischen Möglichkeiten, die begrenzte Transportfähigkeit der Biomasse und den politischen Rahmen für die Nutzung.

Methodisch reichen die Potenzialbestimmungen von einfachen statischen Abschätzungen aktueller Potenziale bis hin zu komplexen Modellen, die eine dynamische Betrachtung erlauben, wie sie auch HEKTOR vornimmt, der für die vorliegende Arbeit entwickelt wurde. Während sich globale Analysen verstärkt ökonomischer Modelle bedienen, bieten regionale

Untersuchungen eher statische Momentaufnahmen für die Potenziale. Zur Einordnung der vorliegenden Arbeit werden nachfolgend einige Studien und relevante Ergebnisse vorgestellt.

3.2.1 Statische Berechnung des Biomasseanfalls

Bei einer statischen Betrachtung der Potenziale wird der aktuelle Anfall der Biomasse geschätzt. Dies stellt eine Punkt Betrachtung technischer und häufig auch wirtschaftlicher Potenziale für eine festgelegte Region dar.

Die Abschätzung der landwirtschaftlichen Reststoffe basiert meist auf statistischen Daten zur Nahrungsmittelproduktion. Aufgrund von Annahmen zu Hauptprodukt-zu-Nebenprodukt-Verhältnissen und Anbauflächen werden die bereitgestellten Mengen an Reststoffen berechnet. In den vergangenen 10 Jahren wurden zahlreiche Studien erstellt, die bereits ein sehr umfassendes Bild der Reststoffpotenziale zur Energieerzeugung ergeben. Tabelle 2 gibt einen Überblick über die Potenzialerhebungen für die EU und einzelne Mitgliedsstaaten.

Tabelle 2: Vergleich von Reststoffpotenzialen aus verschiedenen Studien

Land	Potenzial [PJ/a]	Betrachtete Reststoffe	Quelle
EU-12	1090	nutzbares Energiepotenzial: Exkremete, pflanzliche Reststoffe	OECD (1984)
	445	landwirtschaftliche Abfälle	Heinloth (1995)
EU-15	2222	technisches Energiepotenzial: Exkremete, pflanzliche Reststoffe	Scheuermann et al. (2003)
	1578	verfügbare Erntereste, Exkremete	Nikolaou et al. (2003)
Deutschland	160	nutzbares Energiepotenzial: Exkremete, pflanzliche Reststoffe	OECD (1984)
	115	technisches Potenzial: Stroh, Gülle, landwirtschaftliche Grünabfälle	Enquete (1990)
	100	landwirtschaftliche Abfälle	Heinloth (1995)
	250-275	technisches Potenzial: Stroh, Exkremete, landwirtschaftliche Kofermente, Heu	Kaltschmitt et al. (2003a)
	242	verfügbare Erntereste, Exkremete	Nikolaou et al. (2003)
Österreich	30	nutzbares Energiepotenzial: Exkremete, pflanzliche Reststoffe	OECD (1984)
	12	verfügbare Erntereste, Abfälle aus der Tierhaltung	Nikolaou et al. (2003)
Bayern	35	Gülle, Stroh (1988)	Schulz, et al. (1993)
Polen	206	Stroh, Biogas	Rogulska et al. (2003)
	239	Getreide-, Rapsstroh, Heu, Exkremete	Lacny (2003)
	146	Erntereste, Heu, Exkremete	Pletka (2003)
	192	verfügbare Erntereste, Exkremete	Nikolaou et al. (2003)
Tschechien	23	Getreide-, Rapsstroh, Exkremete	Pletka (2003)
	35	verfügbare Erntereste, Exkremete	Nikolaou et al. (2003)
Ungarn	42	verfügbare Erntereste, Exkremete	Nikolaou et al. (2003)

Diese lassen erhebliche Unterschiede erkennen, die am größten für die EU ausfallen. Aber auch die Potenziale für einzelne Mitgliedsstaaten variieren zum Teil um mehr als 50 %. So

wurde die Höhe der Potenziale für Deutschland im Laufe der Zeit erheblich ausgedehnt. Zwischen Bayern und Österreich mit vergleichbarer landwirtschaftlich genutzter Fläche unterscheiden sich die Reststoffpotenziale dagegen wenig.

Die Unterschiede zwischen Studien lassen sich auf unterschiedliche Annahmen zurückführen, welcher Anteil der Reststoffe aufgrund technischer Restriktionen auf dem Feld verbleibt und welche Nebenprodukte als bergewürdig angenommen werden. Gülle und Getreidestroh gehen in allen Studien in das Potenzial ein, dagegen werden die übrigen Pflanzenreste nur gelegentlich betrachtet.

Auch schwankende Anbauverhältnisse wirken sich auf das Potenzial aus, was insbesondere bei zeitlichen Punktbetrachtungen zu Unterschieden führt. Der Wandel der Potenziale über die Zeit ist zudem durch technischen Fortschritt begründet, der die technologischen Restriktionen für die Nutzung verringert.

Während die Abschätzung von Reststoffpotenzialen vergleichsweise einfach erfolgen kann, beeinflussen die Anbaupotenziale wesentlich mehr Faktoren. Zunächst werden meist Flächenpotenziale abgeschätzt, auf welchen der Anbau je nach Nachfrage variiert wird. Um eine Konkurrenz zwischen Energie und Nahrungsmitteln zu vermeiden, wird die Energiegewinnung meist auf die landwirtschaftliche Überschussproduktion bzw. die in Europa dadurch bedingte Stilllegungsfläche begrenzt. Von dieser wird auf die Fläche geschlossen, die für einen Energiepflanzenanbau in Frage kommt.

Trotz einer prinzipiell ähnlichen Vorgehensweise ermitteln verschiedene Studien jedoch sehr uneinheitliche Anbaupotenziale für dieselbe Region. Gründe sind unterschiedliche Definitionen der Überschussfläche (Ackerflächen, Grünland, Brache...) und verschiedene Annahmen zu Ertragsfähigkeit und Energieausbeute auf den Flächen. Auch im Laufe der Zeit variieren die Anbaupotenziale der verschiedenen Studien stark, wie für Deutschland und die EU gezeigt wird:

Die OECD (1984) ging für die Jahre 1978-1980 nur von 1,3 Mio. ha in der EU-9⁹ an Zuckerrüben, Getreide und Futterpflanzen aus, die für Energie umgenutzt werden können. Strehler (1991) schätzte das Energiepotenzial allein für Deutschland mit 2,5 Mio. ha und 525 PJ/a mehr als doppelt so hoch. Heinloth (1995) sieht die Überschussproduktion bei 10 % der landwirtschaftlichen Nutzfläche, weswegen allein in Deutschland 1,3 Mio. ha zur Verfügung stünden, die bei einem Ertrag von 10 t/ha Trockenmasse (TM) ein Potenzial von 220 PJ/a liefern könnten. Für die EU-12 ergäben sich 10 Mio. ha mit einem Energiepotenzial von 1700 PJ/a. Schneider, et. al (2002) unterstellen für Deutschland eine potenzielle Anbaufläche von 2 Mio. ha, je nach Kultur mit 350-400 PJ/a.

Die punktuelle Ermittlung der Flächen- und Energiepotenziale liefert also keine langfristig verlässlichen Potenzialdaten, da sich die Rahmenbedingungen über die Zeit ändern. So werden die jeweiligen Überschüsse in der Nahrungsmittelproduktion auch durch das aktuelle Ertragsniveau mitbestimmt und die Stilllegungsfläche durch die Politik vorgegeben. Für zukünftige Flächenpotenziale sind die aktuellen Ergebnisse nur bedingt ausschlaggebend. Da die Biomassenutzung derzeit die berechneten Potenziale bei weitem nicht ausschöpft, haben Betrachtungen für aktuelle Flächenpotenziale nur begrenzten Informationswert. *Vielmehr sind*

⁹ EU-9: EU der 9 Mitgliedsstaaten (D, F, IT, NL, B, GB, IR, DÄ, LU)

die Anbaupotenziale interessant, die für den zukünftigen Ausbau der Biomassenutzung begrenzend wirken. Diese Grenze wird derzeit –mit Ausnahme regionaler Biomasse-schwerpunkte –noch nicht erreicht.

Verschiedene Studien tragen dieser Problematik durch die Abschätzungen zukünftiger Potenziale Rechnung, unter anderem mittels Szenarien. Bei ungebrochenen Trends zur Produktivitätssteigerung steigt die verfügbare Anbaufläche für Biomasse. Flaig (1995) schätzt, dass das Flächenpotenzial in Deutschland von kurzfristig 0,9 Mio. ha auf langfristig 3,8 Mio. ha wachsen wird. In der EU-12 würden die Flächen gleichzeitig von 4 Mio. ha auf 16,2 Mio. ha ansteigen. Wintzer et al. (1993) schätzen, dass in Deutschland bei intensiver Bewirtschaftung bis zu 6 Mio. ha für die Bioenergieerzeugung verfügbar sind, bei extensiver Bewirtschaftung dagegen nur 2 Mio. ha.

Für die neuen EU-Mitgliedsstaaten liegen bisher noch wenige Potenzialabschätzungen vor. In Tschechien wird auf Basis der Bracheflächen von heute 0,5 Mio. ha und zukünftig bis zu 1 Mio. ha Fläche ausgegangen, die für den Energiepflanzenanbau zur Verfügung stehen könnten (Safarik et al. 2003). In Ungarn variieren die Schätzungen zu Flächenpotenzialen zwischen heute 400.000 ha (Kocsis 2003) bis 2,2 Mio. ha (Kohlheb et al. 2004). Auch für Polen gibt es keine exakten Angaben zu Biomassepotenzialen, auch aufgrund fehlender statistischer Daten. Die derzeit ungenutzte Landwirtschaftsfläche beträgt etwa 1,6 Mio. ha, zusätzlich könnte ein Teil der 3,5 Mio. ha kontaminierter Landwirtschaftsfläche aus der Nahrungsmittelproduktion genommen werden (Rogulska et al. 2003).

Für die EU entwirft Pontenagel (1995) Szenarien für die zukünftigen Anbaupotenziale bis 2025 in Abhängigkeit von der agrarpolitischen Entwicklung. In einem ersten Szenario dient für 1989 die Hälfte der Stilllegungsflächen als potenzielle Anbaufläche. Für die EU-12 ergeben sich daraus 1,5 Mio. ha bzw. 328 PJ/a. Ausgehend von einer Ausdehnung des Energiepflanzenbaus auf Stilllegungsflächen und einer Reform der Agrarpolitik hin zu Direktzahlungen wird ein zweites Szenario für 2005 berechnet. Darin ergeben sich wesentlich größere Potenziale, mit 1,5 Mio. ha bzw. 352 PJ allein in Deutschland und 8 Mio. ha bzw. 2.242 PJ in der EU-12. Das dritte Szenario beschreibt eine Liberalisierung der Agrarmärkte, die Integration Osteuropas in die EU sowie stark ansteigende Ernteerträge, wodurch bis 2025 25 % der landwirtschaftlichen Nutzfläche der EU freigesetzt würden. Unter diesen Bedingungen könnten auf 34 Mio. ha bis zu 15.606 PJ Bioenergie erzeugt werden.

Deutlich zeigt sich eine starke zeitliche Variation der angegebenen Anbaupotenziale, die zwischen 5 % und 25 % der landwirtschaftlichen Flächen schwanken. Eine punktuelle Betrachtung des Biomasseangebots liefert daher kaum Informationen über die zukünftige Entwicklung, wie sie für einen künftigen Ausbau der Bioenergienutzung benötigt werden. Dies liegt vor allem im Wandel der agrarpolitischen Rahmenbedingungen und dem technischen Fortschritt begründet. Auch die beschriebenen Szenarien werden der Dynamik nur zum Teil gerecht, da sie nur verschiedene Zeitpunkte entlang eines Entwicklungspfades betrachten und alternative Entwicklungspfade vernachlässigen. In den vorliegenden statischen Analysen fehlen zudem integrierende Analysen zu Wechselwirkungen zwischen Biomasseerzeugung und der Versorgung mit Nahrungsmitteln, Naturschutz und sonstigen Flächennachfragen. Dafür werden Modelle benötigt, die diese Verflechtungen darstellen können.

3.2.2 Modelle zur Potenzialbestimmung

Die Integration der komplexen Wirkmechanismen aus Agrarpolitik, Energiewirtschaft und Landnutzung auf verschiedenen Ebenen gelingt besser mit Modellen. Diese können Interaktionen zwischen verschiedenen Sektoren der Flächennutzung berücksichtigen und greifen oft über den Bereich der landwirtschaftlichen Biomasse hinaus auf Forst- und Abfallwirtschaft zu, um das Gesamtsystem abzubilden.

Berndes et al. (2003) vergleichen 17 Potenzialstudien über zukünftige Biomassepotenziale. Die meisten Modelle für den Biomassektor können zwei Kategorien zugeordnet werden:

- Nachfragegesteuerte Abschätzungen: Betrachtung der Wettbewerbsfähigkeit der Biomasse oder des benötigten Beitrags zur Erreichung von externen Zielen, z. B. CO₂-Einsparung
- Angebotsorientierte Untersuchungen: Analyse des verfügbaren Angebots und der Flächen- und Nutzungskonkurrenz zwischen Bioenergie und Landwirtschaft etc.

Die nachfrageorientierten Modelle untersuchen vorwiegend Bevölkerungsentwicklung und Wirtschaftswachstum, während die Herkunft der Biomasse nur eine untergeordnete Rolle spielt. De La Torre Ugarte et al. (2000) berechnen mit dem Modell POLSYS die Anbaufläche für Bioenergie in Abhängigkeit von speziellen Energiepreisen. Das Modell beinhaltet umfangreiche ökonomische Modellierungen der Agrarmärkte, wodurch Auswirkungen verschiedener Entwicklungs- und Politikoptionen auf Landwirtschaft und Umwelt analysiert werden. Unter anderem wird die Auswirkung verschiedener Brennstoffpreise auf die Anbaufläche für Energiepflanzen untersucht. Die Studie kommt zu dem Ergebnis, dass in den USA ab einem Preis von 2,9 \$ pro MBTU (Million British Thermal Units¹⁰) 5 % der Fläche für Bioenergie genutzt würden. Solche nachfrageorientierten Untersuchungen sind insbesondere für die Beurteilung bestehender Politikoptionen im Bereich Biomasse bedeutsam, da sie vorwiegend wirtschaftliche Potenziale analysieren. Diese weisen bei verschiedenen Politikoptionen eine hohe Variationsbreite auf.

Diese wird nach oben durch den maximalen Angebotspfad begrenzt, den die Nachfrage nicht oder nur wenig beeinflussen kann. Aus diesem lässt sich der politische Gestaltungsrahmen abschätzen. Die maximalen Angebotspfade eignen sich zudem, um einige Faktoren außerhalb des Energiemarktgeschehens abzubilden, wie etwa gesellschaftlicher Forderungen für Naturschutz, Flächenbedarf für Siedlung und Verkehr etc. Die dadurch entstehenden Wechselwirkungen können das Angebot direkt beeinflussen. Für die Ermittlung dieses Biomasseangebots werden bisher vorwiegend die beiden folgenden Analyseansätze angewandt.

Eine Methode zur Untersuchung dieses Biomasseangebots basiert auf GIS-Modellen¹¹. Diese versuchen anhand der aktuell vorliegenden Informationen zur Flächennutzung auf die möglichen Angebote an Biomasse zu schließen. Voivontas et al. (2001) analysieren damit das Potenzial landwirtschaftlicher Reststoffe in Kreta, während Dreier (2000) ein GIS-Modell für das globale Potenzial an Anbaubiomasse verwendet. Vorteile der GIS-Methodik sind die Genauigkeit und räumliche Schärfe der gewonnenen Daten, die auch eine hoch aufgelöste

¹⁰ 1 BTU = 1,05506 kJ

¹¹ GIS: Geografisches Informationssystem

Zuordnung des Biomasseangebots bieten. Allerdings lassen sich mit GIS-Modellen nur begrenzt Aussagen über Politikoptionen und zukünftige Entwicklungen treffen, insbesondere wenn nur begrenzte Zeitreihen an Daten vorliegen. Zudem ist bei diesen Modellen eine große Datenfülle nötig, deren Beschaffung und Verarbeitung sehr aufwändig und kostspielig ist.

Die vorliegende Arbeit orientiert sich daher an der Vorgehensweise, wie sie in integrierten Landnutzungs-/Energiewirtschaftsmodellen angewandt wird. Einen Vergleich über verschiedene globale Modelle liefern Berndes et al. (2003) bzw. Johansson et al. (2004). Im Folgenden wird daraus eine Auswahl an aktuellen Arbeiten vorgestellt.

Wie der Vergleich der verschiedenen Landnutzungsmodelle in Tabelle 3 zeigt, variieren die Ergebnisse zum Potenzial aus Energiepflanzen sehr stark, sowohl zwischen als auch innerhalb einzelner Studien. Insbesondere die Verfügbarkeit von Anbauflächen und das Ertragsniveau haben den größten Einfluss auf die Anbaupotenziale. Die Reststoffpotenziale sind dagegen eher stabil. Allen Modellen ist gemein, dass sich die Flächen, die jeweils für die Kategorien Landwirtschaft, Forst und andere Landnutzungen eingesetzt werden, in entwickelten Regionen über die Zeit relativ wenig verändern.

Das *global land use and energy model* (GLUE) schätzt das weltweite Biomassepotenzial bis 2100 auf Basis des Nahrungsmittelverbrauchs (Yamamoto et al. 1998). Bei steigender Bevölkerung und wachsender Produktivität gilt als Flächenpotenzial, was nicht für die Nahrungsmittelproduktion genutzt wird und als Reststoffpotenzial, was noch keiner Nutzung zugeführt wird. Dabei wird zwischen Entwicklungsländern und entwickelten Ländern unterschieden. In zwei Szenarien – gleich bleibender Nahrungsmittelverbrauch und steigender Bedarf an Futtermitteln – wird das gesamte Biomassepotenzial einschließlich Forst- und Abfallwirtschaft ermittelt.

Tabelle 3: Ergebnisvergleich globaler Biomassepotenzialmodelle

globales Biomassepotenzial aus der Landwirtschaft [EJ/a]			Biomasseart	Quelle
2020-2030	2050	2100		
		200-225	Erntereste, Exkrememente	Yamamoto et al. (1998)
		80-155	Energiepflanzen	
	72	114	Erntereste, Exkrememente	Yamamoto et al. (1998)
	110	0-22	Energiepflanzen	
65	65		Erntereste, Exkrememente	Fischer et al. (2001)
150	200		Energiepflanzen	
	19-57		Erntereste, Exkrememente	Hoogwijk et al. (2003)
	8-1098		Energiepflanzen	
	162-648		Energiepflanzen	Wolf et al. (2002)

Die Ergebnisse zeigen für die entwickelten Länder nur geringe Änderungen der Landnutzung zwischen Wald, Acker und Grünland. Ein höherer Futtermittelbedarf geht vorwiegend zu Lasten des Flächenpotenzials in den Entwicklungsländern, wo das Potenzial aus Anbaubiomasse stark schwankt. Die Flächenpotenziale in den Industrieländern variieren zwischen den Szenarien weniger. Die Potenziale aus Energiepflanzen belaufen sich bis 2100 auf 80-155 EJ/a. Landwirtschaftliche Reststoffe weisen ein noch höheres Potenzial als Energiepflanzen auf, bleiben aber in beiden Regionen für beide Szenarien relativ stabil.

Die Adaption des Modells auf 11 Regionen der Welt bestätigt die hohe Variabilität der Potenziale aus Anbaubiomasse. Die verfügbare Fläche für Energiepflanzen nimmt langfristig aufgrund des höheren Nahrungs- und Futtermittelbedarfs ab. Anbaubiomasse wird daher vor allem in Nordamerika, Europa und der früheren UDSSR sowie in Lateinamerika und Ozeanien verfügbar sein, wo sich die Nahrungsaufnahme nur wenig verändern wird (Yamamoto et al. 2001).

Fischer et al. (2001) analysieren globale Biomassepotenziale ebenfalls anhand von 11 Regionen. Das Modell berücksichtigt Nachhaltigkeitsziele bzw. vermeidet Landnutzungskonflikte zwischen Energie und Ernährung. Auf Basis von FAO-Statistiken zur Landwirtschaft berechnet das Modell technische Potenziale, in die darüber hinaus Faktoren zur Entwicklung der Wirtschaft eingehen. Im Gegensatz zu Yamamoto ermitteln sie ein höheres Energiepotenzial aus Anbaubiomasse von 200 EJ/a in 2050, welches das Potenzial aus landwirtschaftlichen Reststoffen weit übertrifft. Dieses Modell zeigt eine wesentlich dynamischere Ausdehnung der Biomassepotenziale auf.

Auch die sehr ähnlichen Modelle von Hoogwijk et al. (2003) und Wolf et al. (2002) betrachten, welche Biomassepotenziale in 2050 bestehen, ohne die Nahrungsmittelversorgung einzuschränken. Beide Modelle berücksichtigen neben dem Anbau von Biomasse die Reststoffe aus der Nahrungsmittelproduktion. Die Szenarien gehen jeweils von einem intensiven und einem extensiven Produktionssystem aus. Dem werden in beiden Modellen als Extrema eine vegetarische und eine von Überfluss geprägte Ernährung gegenüber gestellt, sowie eine mittlere Ernährungsstufe bei jeweils geringem, mittlerem und hohem Bevölkerungswachstum.

In den Extremfällen der Szenarien ergeben sich nach Hoogwijk et al. (2003) zwischen 0 % und 74 % der weltweiten Landwirtschaftsfläche, die für einen Energiepflanzenanbau zur Verfügung stehen. Bei Wolf et al. (2002) ist die Spanne zwischen den Extremszenarien noch größer, im Ergebnis werden jedoch auf 45 - 65 % verfügbare Ackerflächen geschlossen. Nützt man für den Vergleich mit anderen Studien ein mittleres Bevölkerungswachstum und eine moderate Ernährung, so sind nach Hoogwijk et al. (2003) bei intensiven Produktionssystemen weltweit etwa 48 % oder 2,4 Gigahektar (Gha) an Landwirtschaftsfläche für den Energiepflanzenanbau, bei extensiver Bewirtschaftung dagegen keine Flächen verfügbar. Diese Berechnungen sind jedoch insofern als kritisch zu betrachten, als die Entwicklung des Nahrungsverbrauchs einer eigenen Dynamik unterliegt und sich regional unterschiedlich entwickelt. Eine vegetarische Diät widerspricht dem Trend zum zunehmenden Fleischkonsum, der politisch kaum beeinflussbar ist. Auf Basis von pflanzlicher Ernährung berechnete Biomassepotenziale sind daher eher in den Bereich der theoretischen Potenziale zu verweisen.

Alle vorgestellten Studien gehen davon aus, dass für den Anbau von Energiepflanzen unter Umständen erheblich Flächen verfügbar sind. Die dabei ermittelten Flächenpotenziale variieren jedoch stark je nach Eingangsannahmen zum Nahrungsmittelverbrauch und der Produktion. Im Vergleich zu den landwirtschaftlichen Reststoffen sind die Energiepotenziale aus Anbaubiomasse höher, allerdings sind Bandbreiten zwischen den Studien und damit die Unsicherheit bei der Abschätzung wesentlich größer.

Auch über die regionale Verteilung der Biomassepotenziale herrscht keine Einigkeit. Zwar kommen Fischer et al. (2001) und Yamamoto et al. (2001) zu dem Ergebnis, dass auch in

Europa große Flächen verfügbar würden, Wolf et al. (2002) sehen dagegen eher Potenziale in Amerika, Zentralafrika und Ozeanien.

Für eine robuste Potenzialabschätzung müssen also die wichtigen Einflussfaktoren auf die Landnutzung und ihre Entwicklung möglichst genau abgebildet werden. Auf globaler Ebene wirft dies erhebliche Schwierigkeiten auf. Selbst bei einer Regionalisierung in 11 Regionen der Erde ergibt sich eine sehr hohe Aggregationsstufe der Daten. Insbesondere die Agrarpolitik wirkt sich aber stark regional differenziert aus. Im Hinblick auf die Bedeutung der dezentralen Nutzung der Biomasse und eine Unterstützung regionaler Biomassemärkte müssen die globalen Potenzialanalysen durch regionale Betrachtungen ergänzt werden.

Entstehen Potenziale abseits jeglicher Nutzungsmöglichkeit, sollte das Angebot eher einem theoretischen als einem technischen Potenzial zugerechnet werden. Aufgrund der variierenden politischen Rahmenbedingungen interessieren daher nationale Potenziale, die über Ex- und Import wiederum mit Nachbarländern in Wechselwirkung treten können. Innerhalb Ländergrenzen lassen sich auch erst Nutzungskonkurrenzen betrachten, die aus gesellschaftlichen Forderungen hinsichtlich Flächenverbrauch oder Nachhaltigkeit entstehen.

Ein solches nationales Modell entwickelten Haberl et al. (2001) im Projekt *Rohstoff Landschaft*, das mit einem Biomasse-Flussmodell Szenarien für Biomasseeinsatz und Landnutzung in Österreich betrachtet. Bis auf Gemeindeebene werden darin die Stoffflüsse an Biomasse für die verschiedenen Einsatzmöglichkeiten verfolgt und Szenarien für unterschiedliche agrar-, umwelt-, und energiepolitische Entwicklungen untersucht. Für andere Länder fehlt bisher ein nationales bzw. regionales Modell, das Biomassepotenziale im Gesamtkontext der Landnutzung betrachtet und Aussagen zu deren zukünftiger Entwicklung ermöglicht. Diesem Defizit wird nun mit dem Modell HEKTOR begegnet, das für die vorliegende Arbeit entwickelt wurde. HEKTOR trägt den Anforderungen an Regionalbezug Rechnung und berücksichtigt die agrarpolitischen Rahmenbedingungen.

4 Das Modell HEKTOR: Ermittlung landwirtschaftlicher Biomassepotenziale

4.1 Ziel des Modells

Bisher liegt kein Modell für eine zeitlich dynamische Ermittlung der landwirtschaftlichen Biomassepotenziale auf regionaler Ebene vor. Mit der vorliegenden Arbeit wird daher ein geeignetes Modell entwickelt. Das Modell HEKTOR weist gegenüber den verfügbaren Modellen verschiedene Vorteile auf: Es ermöglicht eine integrierte Betrachtung von Nahrungsmittel- und Energieerzeugung auf Ebene der Landnutzung eines Landes oder Region. HEKTOR reagiert außerdem dynamisch auf zeitabhängige Entwicklungen, wodurch mittel- bis langfristige Analysen möglich werden. Daneben ist HEKTOR leicht für andere Regionen anpassbar, da die gewählte Datenbasis für viele Länder frei verfügbar vorliegt und einfach übertragbar ist.

HEKTOR ist ein Akronym für *Hektar-Kalkulator*. Mit diesem Werkzeug können die Potenziale in Abhängigkeit von den Rahmenbedingungen – vorwiegend in der Landwirtschaft – analysiert werden. Die Grundlage des Modells für Deutschland wurde von der Autorin in zusammen mit dem Öko-Institut e. V., Darmstadt im Rahmen des Projekts *Stoffstromanalyse zur nachhaltigen energetischen Nutzung von Biomasse*¹² (Fritsche et al. 2004a) gelegt. Die Weiterentwicklung und Übertragung auf weitere Länder erstellte die Autorin innerhalb des Projekts *Potenziale der Biomasse für Energieerzeugung und landwirtschaftliche Einkommen nach der EU-Osterweiterung*¹³. Eine Version des Modells für Deutschland ist dieser Arbeit auf CD-ROM beigelegt.

4.2 Arbeitsweise von HEKTOR

Das Modell HEKTOR schätzt ab, welche Flächen in Zukunft für den Anbau von Energiebiomasse in einem Land unter unterschiedlichen Rahmenbedingungen zur Verfügung stehen. Dazu wird betrachtet, welche Nutzungsformen um die landwirtschaftlich genutzte Fläche potenziell konkurrieren.

Ausgehend von der Gesamtfläche eines Landes scheiden zunächst Flächen aus, die für einen Anbau generell nicht verfügbar sind, wie Wasser-, Gebirgs-, Siedlungs- und Verkehrsflächen sowie für den Naturschutz reservierte Gebiete.. Die relativ konstanten Forstflächen werden ebenfalls aus der Betrachtung ausgeschlossen.¹⁴ Holzpotenziale aus der Forstwirtschaft, die andere Studien bereits ausführlich betrachten folgen aufgrund der langen Umtriebszeiten einer gänzlich anderen Dynamik und sind weitgehend unabhängig vom landwirtschaftlichen Biomassepotenzial. Als Ausgangsbasis der Flächenpotenziale verbleibt die landwirtschaftlich genutzte Fläche (LF).

¹² Gefördert vom Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU) im Rahmen des Zukunfts-Investitions-Programms (ZIP) der Bundesregierung

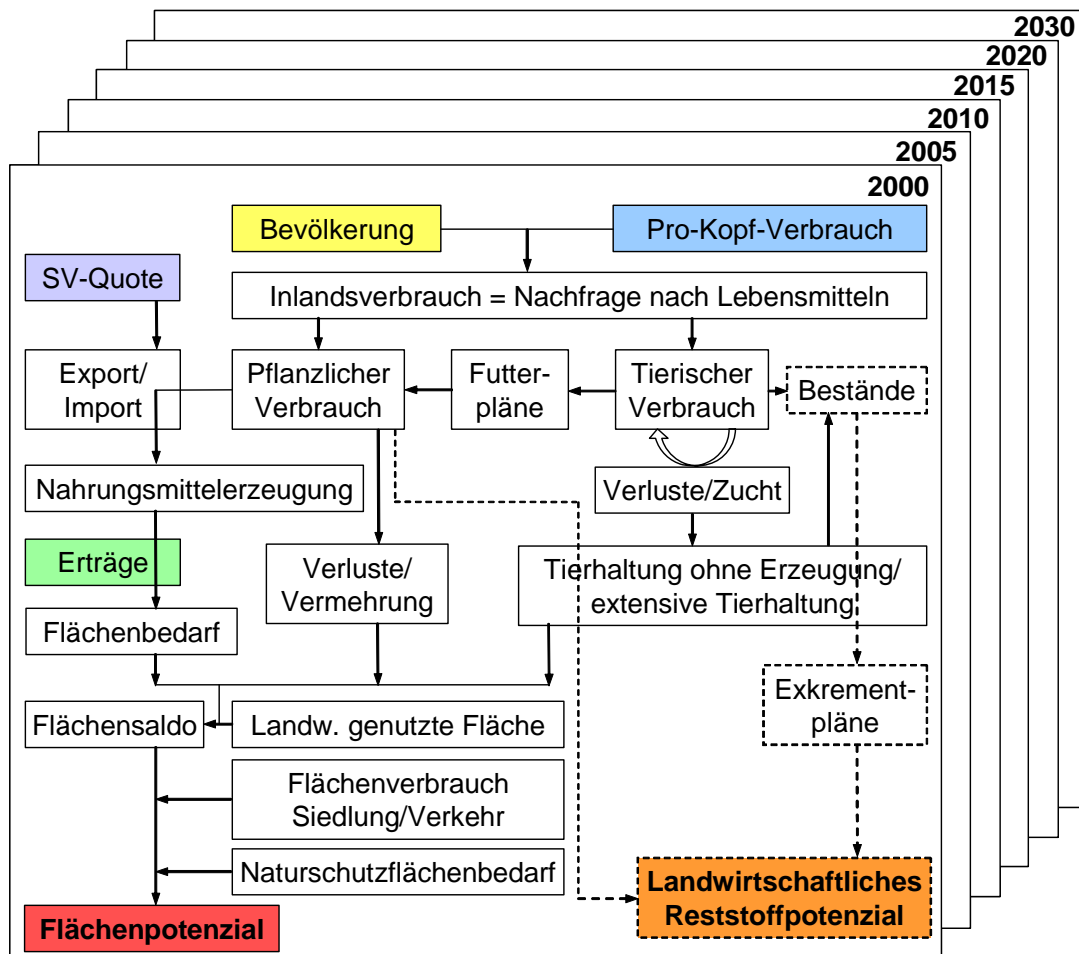
¹³ Gefördert durch das Bayerische Staatsministerium für Landwirtschaft und Forsten.

¹⁴ In Deutschland unterliegen Waldverluste einer 100 %igen Ausgleichspflicht (BWaldG 1975). Auch in den übrigen betrachteten Ländern sind die Waldflächen über die Zeit relativ konstant (EUROSTAT 2004)

Trotz der steigenden Bedeutung des Anbaus von Energiebiomasse, wird die Produktion von Nahrungsmitteln weiterhin das Hauptziel der Landwirtschaft bleiben. Daher wird zunächst der Flächenbedarf für die Erzeugung von Nahrungsmitteln berechnet.

Aus der Differenz zwischen vorhandener und für die Ernährung genutzter Fläche ergeben sich für jeden Zeitpunkt frei verfügbare Flächen. Von diesen müssen alle übrigen Flächenansprüche für zukünftigen Siedlungs- und Verkehrsausbau, aber auch für die Erfüllung von Naturschutzziele bereitgestellt werden. Nach Abzug dieser gesellschaftlichen Flächenansprüche verbleibt ein Flächenpotenzial, das für Energiepflanzenanbau genutzt werden kann. Abbildung 10 zeigt den schematischen Aufbau des Modells, der nachfolgend im Detail beschrieben wird.

Abbildung 10: Fließschema für das Modell HEKTOR



HEKTOR ermittelt zunächst die landwirtschaftlich genutzte Fläche, die in einer Region für die Produktion tierischer und pflanzlicher Nahrungsmittel genutzt werden. Um die zeitliche Dynamik darzustellen, werden die Berechnungen für verschiedene Stützzeitpunkte ausgeführt. Kurz- bis mittelfristig wurden dazu Fünfjahresschritte von 2000 bis 2020 gewählt und durch eine langfristige Betrachtung für 2030 ergänzt.

HEKTOR arbeitet auf Basis der Nachfrage, die den Gesamtverbrauch relevanter Lebensmittel für die Stützzeitpunkte ermittelt und über zahlreiche Daten und Annahmen zu Produktion und Verarbeitung in Landnutzung umwandelt. Die zeitliche Dynamik in HEKTOR entsteht durch

dynamische Faktoren, wie die Entwicklung der Bevölkerung, des Pro-Kopf-Verbrauchs an Nahrungsmitteln und die steigenden Erträge.

Die Nahrungsmittelproduktion eines Landes kann nicht unabhängig von Nachbarländern betrachtet werden, da landwirtschaftliche Produkte weltweit gehandelt werden. Zwar weist der europäische Binnenmarkt gegenüber dem Weltmarkt einen begrenzten Außenschutz für landwirtschaftliche Produkte auf, innerhalb der EU herrscht jedoch freier Warenverkehr. Für den Flächenbedarf der Nahrungsmittelproduktion eines Landes sind daher neben dem Bedarf auch internationale Handelsströme relevant.

Die Dynamik der Märkte und ihre Auswirkungen auf die Flächennutzung der Landwirtschaft werden indirekt berücksichtigt. Dazu dient ein vereinfachter Ansatz, der Veränderungen in den Märkten als Veränderungen in den Selbstversorgungsquoten abbildet. Grundannahme dafür ist, dass der Konsum in einer Region weitgehend durch die Berechnungen innerhalb des Modells abgebildet wird. Nimmt die Produktion mit steigenden oder fallenden Preisen zu oder ab, so schlägt sich dies in einer Zu- oder Abnahme der Selbstversorgungsquote nieder. Ihre Variation dient also als Indikator, der implizit die Wettbewerbsfähigkeit der Landwirtschaft je nach Produkt und Land darstellt. Die Selbstversorgungsquoten bilden Stellgrößen für verschiedene Szenarien und können über die Dateneingabe variiert werden. Weitere Variablen sind unter anderem die Intensität des Pflanzenbaus und der Tierproduktion. Die Variation der verschiedenen Stellgrößen in den Szenarien ist im Kapitel 6 dokumentiert.

4.3 Modellstruktur

Im Folgenden wird die Systematik des Modellaufbaus und der Datenstruktur für alle Regionen entlang des Fließschemas beschrieben. Das Modell HEKTOR besteht aus einer Reihe von verknüpften Excel-Dateien. Diese Struktur kann anhand des Beispiels auf der beigelegten CD-ROM nachvollzogen werden. HEKTOR verfügt über eine Dateneingabemaske, welche die variablen Modellparameter abbildet. Durch die Variation der Dateneingabe kann der Benutzer verschiedene Entwicklungspfade für den Agrarsektor bis 2030 in Form von Szenarien erzeugen. Welche Daten und Quellen den Modellannahmen zugrunde liegen, ist in Kapitel 5 für jedes Land beschrieben.

4.3.1 Datengrundlage: Die Basisdateien

Die Dateien sind durch die Verzeichnisstruktur in Basisdateien und die eigentlichen Modelldateien unterteilt (vgl. Abbildung 11 und beigelegte CD-ROM). Während in den Basisdateien die Datengrundlage für die jeweilige Region fixiert ist, geschieht in den eigentlichen Modelldateien die Szenarioerstellung durch den Benutzer, die Transformation der Nahrungsmittel in Flächenansprüche und die Ergebnisdarstellung.

HEKTOR basiert vorwiegend auf statistischen Daten für das jeweilige Land. Diese sind in den Basisdateien hinterlegt und systematisch getrennt. Für den Nahrungsmittelverbrauch, die landwirtschaftlichen Erträge und die Nutztierfütterung wurden jeweils eigene Dateien im Unterordner *Länderdaten* angelegt. Anhand dieser Daten werden im Modell Annahmen über die Weiterentwicklung der verschiedenen Rahmendaten getroffen. Beides erfolgt für jedes Land separat (vgl. Kapitel 5.2 - 5.6). Im Folgenden wird nun die Berechnungsstruktur in den Dateien im Einzelnen vorgestellt.

Abbildung 11: Verzeichnisstruktur des Modells

Dateiname		Typ
Länderdaten	Basisdateien	Dateiordner
HEKTOR.xls	Modelldateien	Microsoft Excel-Arbeitsblatt
AUGIAS.xls		Microsoft Excel-Arbeitsblatt
PROMETHEUS.xls		Microsoft Excel-Arbeitsblatt
RESTSTOFF_sonstige.xls		Microsoft Excel-Arbeitsblatt
potenzial_ergebnis.xls	Ergebnisausgabe	Microsoft Excel-Arbeitsblatt

Nahrungsmittelverbrauch

Der Nahrungsmittelverbrauch ist eine zentrale Eingangsgröße von HEKTOR. Er wird mit Hilfe der Trends für den Pro-Kopf-Verbrauch der wichtigsten Lebensmittel anhand der Agrarstatistik fortgeschrieben. Gleichzeitig wird die Bevölkerungsentwicklung für alle Stützzeitpunkte durch der Trends und einschlägiger Studien abgeschätzt.¹⁵ Aus diesen Daten wird der gesamte Verbrauch an Nahrungsmitteln hochgerechnet.

Die Berechnungen der Trends sowie die Umrechnung auf den Gesamtverbrauch sind in der Datei verbrauch.xls im Unterordner *HEKTOR_Deutschland\Länderdaten* hinterlegt (vgl. CD-ROM). Dort erfolgt auch eine Umrechnung von verbrauchten Verarbeitungsprodukten in die jeweiligen Rohstoffe, z.B. von Milchprodukten in Frischmilch.

Erträge landwirtschaftlicher Kulturen

Zur Umrechnung der Verbrauchsdaten auf die Fläche wird zwischen tierischen und pflanzlichen Nahrungsmitteln unterschieden. Die Fläche für die pflanzliche Erzeugung errechnet sich aus der Produktionsmenge und den Flächenerträgen der verschiedenen Kulturen, die sich bis 2030 entlang der bisherigen Trends weiterentwickeln.

Die Trendberechnungen können in der Datei produktion.xls und erträge.xls eingesehen werden. Die im Modell genutzten Erträge sind für die Stützzeitpunkte von 2000 bis 2030 im Überblick jeweils für den konventionellen und ökologischen Landbau in der Datei erträge.xls zusammengefasst (vgl. Unterordner *HEKTOR_Deutschland\Länderdaten* auf der CD-ROM).

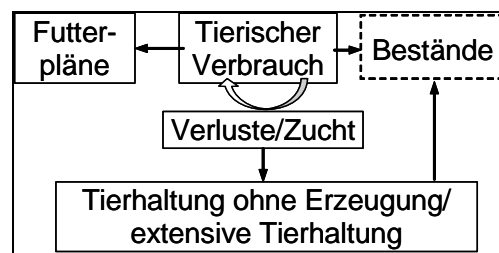
Produktionssysteme in der Tierhaltung

Bei der Ermittlung der Flächen für die Erzeugung tierischer Lebensmittel ist der Bedarf an Acker und Grünland zur Fütterung der jeweiligen Tierarten ausschlaggebend. Für Rinder, Schweine und Geflügel wurden Futterpläne in unterschiedlichen Intensitätsstufen bzw. Leistungen erstellt, die den Futtermittelverbrauch eines Tieres in verschiedenen Haltungsformen über seine Lebenszeit kumulieren (Abbildung 12).

Aus dem Lebensfutterplan ergibt sich ein spezifischer Futtermittelverbrauch pro Kilogramm Fleisch und Milch bzw. pro Ei. Die benötigten Futtermittelmengen für den Gesamtverbrauch an tierischen Nahrungsmitteln werden anhand der Ertragsdaten in Flächen umgerechnet.

¹⁵ Die verwendeten Quellen sind in den jeweiligen Länderkapiteln 5.2 bis 5.6 ausführlich dokumentiert.

Abbildung 12: Berechnungsschema für die Landnutzung in der Tierproduktion



Das Vorgehen wurde in Anlehnung an die Stoffstrom-Datenbank GEMIS¹⁶ gewählt, in der für Deutschland die jeweiligen Produktionssysteme in der Tierhaltung als so genannte Prozesse hinterlegt sind. Innerhalb eines Prozesses sind alle Stoff- und Energiein- und -outputs für den gesamten Lebenszyklus eines Nutztiers exemplarisch dargestellt. In HEKTOR wurden die darin definierten Futterpläne und Leistungen bzw. Produkte übernommen und für die verschiedenen Länder variiert. Diese Futterpläne und Leistungen basieren auf Literaturdaten und Expertenangaben und sind in GEMIS dokumentiert (Öko-Institut 2005).

Die Prozesslogik gewährleistet, dass eine Veränderung in Nahrungsmittelverbrauch oder -produktion in jeder Produktionsstufe berücksichtigt wird. Tierbestände und Nahrungsmittel-output sind dadurch jederzeit konsistent. Dies erleichtert die Erstellung von Szenarien, vermindert Fehlerquellen und erhöht die Benutzerfreundlichkeit von HEKTOR. Ausgehend von den deutschen Produktionssystemen wurden Futterpläne für die übrigen Regionen angepasst. Tabelle 4 gibt einen Überblick, welche Prozesse für die Tierhaltung definiert wurden. Die kumulierten Lebensfuttermittelverbräuche sind in der Datei `futterpläne.xls` abgelegt (vgl. Unterordner `HEKTOR_Deutschland\Länderdaten` auf der CD-ROM).

Tabelle 4: Prozesse für die Tierhaltung in HEKTOR

Produktionsrichtung	Benennung der Prozesse nach Produktionsverfahren bzw. Fütterungsschwerpunkt			
	Milch	Kuh Maissilage	Kuh Grassilage	Kuh Gras/Weide
Rindfleisch	Bulle Maissilage	Bulle Grassilage	Ökorinder von Milchkuh	Extensivrinder von Mutterkuh (Weide)
Schweinefleisch	Intensivmast	Standardmast	---	Ökomast
Geflügelfleisch/ Eier	Masthühner	Mastputen	Legehennen	Legehennen Freiland

Die Anteile der verschiedenen Produktionsverfahren können für die Erstellung von Szenarien verändert werden. Da die Produktionssysteme für das jeweilige Land angepasst werden müssen, werden sie in den Kapiteln 5.2 bis 5.6 zu den Rahmendaten der Modelle detaillierter beschrieben. Für Milch, Rind- und Schweinefleisch wurde neben den konventionellen Prozessen auch je ein ökologischer Prozess definiert. Bei Geflügelfleisch wurde darauf verzichtet, da dessen Flächenanspruch insgesamt relativ gering ist und sich die Unterschiede zwischen konventionellen und ökologischen Prozessen nur geringfügig auf die Flächen

¹⁶ GEMIS steht für Gesamt-Emissions-Modell Integrierter Systeme, das vom Öko-Institut e. V. im Internet unter <http://www.oeko.de/service/gemis/de/index.htm> zur Verfügung gestellt wird. GEMIS ist eine öffentlich zugängliche Datenbasis und ein Werkzeug für Stoffstromanalysen und ökobilanzielle Vergleiche (Öko-Institut 2005)

auswirken. Bei Legehennen wurde stattdessen ein Futterplan zur Freilandhaltung erstellt. Die kumulierten Lebensfuttermittelverbräuche werden in den jeweiligen Kapiteln zu den länderspezifischen Rahmendaten beschrieben (vgl. Kapitel 5.2 bis 5.6).

In der Prozesslogik werden vorgelagerte Aufwendungen, z. B. für Muttertiere, die im Laufe der Produktionskette anfallen, dem jeweiligen Endprodukt zugerechnet. Dadurch wird eine vollständige Betrachtung aller Aufwendungen pro Einheit Endprodukt gewährleistet. Für Milchkühe sind die Futterpläne in Abhängigkeit von der Leistung dynamisch (vgl. Kapitel 5.2 - 5.6). Die Berechnung der Leistungssteigerung ist in der Datei *tierleistung und flächen.xls* hinterlegt (vgl. CD-ROM, Unterordner *HEKTOR_Deutschland\Länderdaten*).

Die Rindermast wurde in Anlehnung an Hoffmann et al. (2003) an die Kälberproduktion aus der Milchviehhaltung gekoppelt. Diese Rindfleischerzeugung wird zusätzlich durch Mutterkuhhaltung ergänzt, deren Rindfleischproduktion von der Milcherzeugung unabhängig ist.

4.3.2 Die Modelldatei HEKTOR

In der Modelldatei *HEKTOR.xls* (vgl. CD-ROM, Ordner *HEKTOR_Deutschland*) findet die Umrechnung der Eingangsdaten in Flächen statt. In einer HEKTOR-Datei kann jeweils ein Szenario abgebildet werden. Dazu verfügt die Datei über ein Excel-Tabellenblatt *DATENEINGABE*, in dem die jeweiligen Annahmen definiert werden.

Dateneingabe: Modellierung von Szenarien

In diesem Tabellenblatt *DATENEINGABE* legt der Benutzer die Szenarioannahmen fest. Dort sind die Faktoren variierbar, die sich stark auf den Flächenbedarf auswirken und politisch beeinflussbar sind bzw. nicht durch einfache Trends abgebildet werden können. So kann der Anteil an ökologischem Landbau bzw. an ökologischer Tierproduktion variiert werden. Für die Tierhaltung ist zudem eine Variation verschiedener Haltungsformen möglich, die unterschiedliche Intensitäten oder eine unterschiedliche Futterbasis widerspiegeln.

Darüber hinaus können über die *DATENEINGABE* die Selbstversorgungsquoten für Fleisch und Eier verändert werden, um je nach Szenario die zukünftigen Entwicklungen der landwirtschaftlichen Märkte in das Modell einzuspeisen. Daraus ergibt sich eine hohe Flexibilität für Anpassung der Szenarien auf neue Fragestellungen. Bei den pflanzlichen Produkten sind die Selbstversorgungsquoten für Getreide, Zuckerrüben und Kartoffeln variabel. Für Milch und Rindfleisch sind Selbstversorgungsquoten nicht über die *DATENEINGABE*, sondern nur modellintern über die Produktionsmenge zu verändern, da Milch bis 2015 über die Quote gesteuert wird und die Rindfleischproduktion an die Milchproduktion gekoppelt ist.

Umrechnung der pflanzlichen Produktion in Flächen

Die Umrechnung in Flächen erfolgt in *HEKTOR.xls* getrennt nach pflanzlichen Erzeugnissen und tierischen Produkten für jeden einzelnen Stützzeitpunkt (2000, 2005, 2010, 2015, 2020 und 2030), separat in einem eigenen Excel-Tabellenblatt (vgl. CD-ROM, Ordner *HEKTOR_Deutschland*). Das Ergebnis wird getrennt nach Acker und Grünland ausgewiesen.

Die Ermittlung der Flächen für die pflanzlichen Lebensmittel ist in den Tabellenblättern mit der Bezeichnung *pflanzliche Produkte 2000* (bzw. *2005...2030*) der Datei *HEKTOR* abgelegt. Der Gesamtverbrauch eines Landes an Weizen, sonstigem Getreide, Speisekartoffeln und

Zuckerrüben für die direkte menschliche Ernährung wird über die spezifischen Erträge in die dafür benötigte Fläche umgerechnet.

Für verschiedene Kulturen, die nicht direkt oder ausschließlich der menschlichen Ernährung zugerechnet werden können, erfolgt ein vereinfachter Ansatz. Ausgehend von den in der Vergangenheit genutzten Flächen werden pauschale Flächennachfragen abgeschätzt. Diese werden über die gesamte Zeit als Konstanten betrachtet, die kein Anbaupotenzial für Energiebiomasse bieten und damit aus der Modellberechnung ausgeschlossen werden können. Stattdessen werden sie bis 2030 als durchlaufender Posten mitgeführt. Dies gilt auch für Kulturen mit sehr geringen Anbauflächen, da diese das Gesamtergebnis kaum beeinflussen.

Dies trifft z. B. auf Flächen von Dauer- und Sonderkulturen zu. Ebenso konstant gehen die Flächen für Industriegetreide, Saatgutvermehrung und zusätzliche Anbauflächen ein, die vorgehalten werden müssen, um Verluste bei Ernte, Lagerung etc. auszugleichen. Im Modell werden diese Flächen auch in Zukunft von Industrie und Vermehrungsbetrieben nachgefragt. Ihr Anteil an der Gesamtanbaufläche ist relativ gering.

Bei Industriekartoffeln und Handelsgewächsen sind die Verarbeitungsströme relativ kompliziert, weswegen sie nicht direkt dem menschlichen Pro-Kopf-Verbrauch zugerechnet werden können. So ist in Deutschland die Kartoffelproduktion entlang des sinkenden Konsums von Speisekartoffeln rückläufig – bei großen jährlichen Schwankungen. Für Industriekartoffeln wird daher innerhalb des Modells für die Zukunft eine pauschale Anbaufläche bereitgehalten.

Hülsenfrüchte gehen zwar in die Futterpläne ein, allerdings besteht eine große Substitutionsfähigkeit durch Sojaimporte. Daher wird die Selbstversorgungsquote auf dem aktuellen Niveau konstant gehalten. Da Hülsenfrüchte in den betrachteten Ländern weniger als 2-3 % der Ackerfläche belegen (EUROSTAT 2004), wirkt sich auch eine starke Veränderung der realen Selbstversorgung kaum auf die Flächenpotenziale aus.

Bei Handelsgewächsen nehmen in den betrachteten Ländern nur die Ölsaaten Raps und Sonnenblumen bedeutende Flächen ein. Die Produktion und Flächen variieren jedoch vergleichsweise stark von Jahr zu Jahr. Darüber hinaus gibt es zahlreiche Verwendungen für Ölsaaten, von der direkten Nutzung in der menschlichen Ernährung über die Verarbeitung in der Lebensmittelindustrie, als Futtermittel in der Tierernährung, bis hin zur Nutzung als nachwachsender Rohstoff. Zudem bestehen zahlreiche Substitutionsbeziehungen: In der Tierernährung können diese Produkte durch andere Ölpflanzen, wie importiertem Soja, ersetzt werden. In der menschlichen Ernährung besteht Ersatz für Pflanzenöle durch tierische Fette, wie Butter. Und im Bereich der nachwachsenden Rohstoffe bestehen Austauschbeziehungen durch fossile Öle. Gleichzeitig stehen die bei der Ölgewinnung entstehenden Reststoffe in Konkurrenz zu den übrigen Eiweißfuttermitteln. Daher wird bei Ölsaaten zwischen Futter- bzw. Lebensmitteln und nachwachsenden Rohstoffen unterschieden. Während die Nutzung in der Ernährung auf dem langjährigen Mittel konstant gehalten wird, gehen die Ölsaatenflächen für den Anbau nachwachsender Rohstoffe direkt in das Flächenpotenzial ein.

Berechnung des Flächenbedarfs für die tierische Produktion

Bei der tierischen Produktion wird zwischen den Produkten Schweinefleisch, Milch, Rindfleisch, Geflügelfleisch und Eiern unterschieden. In dieser Reihenfolge wurden für jedes

Produkt in der Datei HEKTOR.xls jeweils eigene Tabellenblätter zu jedem Stützzeitpunkt eingefügt (vgl. CD-ROM).

Generell wird zunächst aus dem Bedarf an tierischen Produkten die benötigte Tierzahl und dann über den Futtermittelverbrauch die dafür nötige Fläche errechnet. Innerhalb der Excel-Tabellenblätter *Schweinefleisch 2000 – 2030* wird der Flächenverbrauch für die Schweinefleischproduktion berechnet (vgl. CD-ROM, Ordner *HEKTOR_Deutschland\HEKTOR.xls*). Zunächst wird der Verbrauch mit der Selbstversorgungsquote multipliziert und die tatsächliche Produktionsmenge eines Landes bestimmt. Anschließend wird über das mittlere Schlachtgewicht die benötigte Tierzahl ermittelt. Diese wird anhand der Aufteilung in der *DATENEINGABE* auf die verschiedenen Haltungsformen verteilt. Über die Futterpläne werden die verbrauchten Futtermengen ermittelt und daraus mit Hilfe der Erträge die benötigten Flächen. Neben dem Flächenverbrauch im Inland wird außerdem die Anbaufläche für importierte Sojafuttermittel bestimmt.

Der Milchmarkt in der EU ist seit Einführung der Milchquote 1984 ein stark regulierter Markt. Die Produktion wird durch die Quote bestimmt. Im Modell basieren die Berechnungen in den Tabellenblättern *Milch 2000-2030* daher im Gegensatz zu den verbrauchsbasierten Berechnungen auf einem Trend für die Milchproduktion auf Basis der Quote (vgl. CD-ROM, Ordner *HEKTOR_Deutschland\HEKTOR.xls*). Die produzierte Menge wird über die durchschnittliche Milchleistung in den Bedarf an Milchkühen umgerechnet. Aus dem Milchkuhbestand¹⁷ wird mit Futterplänen und Hektarerträgen der Flächenbedarf für die Milchwirtschaft ermittelt, getrennt nach Grün- und Ackerland. Darüber hinaus wird die „importierte“ Sojafläche berechnet.

Rindfleisch wird im Modell zunächst als ein Koppelprodukt der Milchproduktion betrachtet. Wie bei der Milch wird daher die Produktionsmenge an Rindfleisch anhand des Trends fortgeschrieben. Die Selbstversorgungsquote wird in der Gegenüberstellung mit dem Rindfleischverbrauch errechnet und nicht von außen vorgegeben.

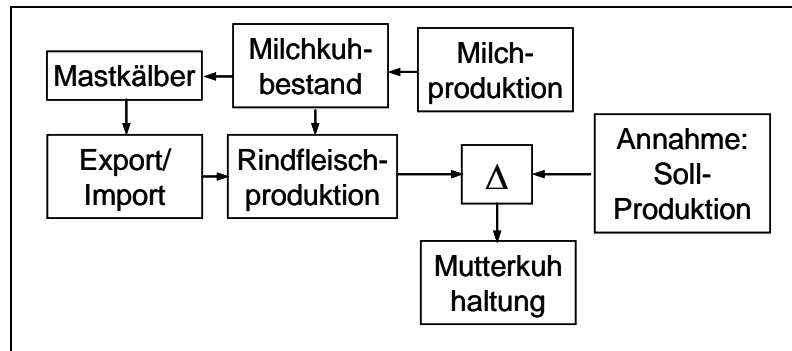
Die Berechnungen erfolgen für die verschiedenen Stützzeitpunkte in den Tabellenblättern *Rindfleisch 2000 – 2030*. Die Produktionsmenge an Fleisch wird über das Schlachtgewicht in die benötigte Anzahl an Schlachttieren umgerechnet. Davon wird die Anzahl an geschlachteten Milchkühen abgezogen, die sich aus der Milchproduktion ergibt. Das Fleisch von Milchkühen geht ohne Flächenanspruch in den Verbrauch ein, da die Fläche bereits in der Milchproduktion berücksichtigt ist. Die nach Abzug der geschlachteten Milchkühe verbleibende Tierzahl muss in der Rindermast erzeugt werden (vgl. Abbildung 13).

Dafür werden zunächst die Mastkälber angerechnet, welche die Milchviehhaltung liefert. Dieser Wert kann durch Kälberim- und -exporte bzw. Kälberschlachtungen variiert werden. Die so ermittelte Zahl an Milchvieh-Kälbern wird auf zwei konventionelle und ein ökologisches Produktionsverfahren anhand der Annahmen in der *DATENEINGABE* verteilt. Die noch fehlende Rindfleischproduktion wird durch Mutterkuhhaltung ergänzt. Da die

¹⁷ Erläuterung zum Kuhbestand: Der berechnete Viehbestand entspricht allerdings nicht dem tatsächlichen Bestand. Da die Lebensdauer einer Kuh ein Jahr übertrifft und der Futterplan die Futtermenge für die gesamte Lebenszeit umfasst, muss das Futter auch auf die gesamte Lebensleistung umgelegt werden. Zur Ermittlung des tatsächlichen Milchviehbestands muss die Anzahl an Milchkühen in der Tabelle mit der Nutzungsdauer in Jahren multipliziert werden.

verbrauchte Kalbfleischmenge gering ist, wurde auf einen eigenen Prozess für Kälbermast und Kalbfleischproduktion verzichtet. Aus den resultierenden Tierzahlen werden anschließend mit den Futterplänen der Produktionsverfahren und Ertragsdaten die benötigten Acker- und Grünlandflächen für die Rindfleischproduktion berechnet.

Abbildung 13: Verknüpfung der Rindfleischproduktion aus Milchvieh- und Mutterkuhhaltung



Die Berechnung der Flächen für die Geflügelfleischerzeugung erfolgt analog zu Schweinefleisch in den Tabellenblättern *Geflügelfleisch 2000 – 2030* (vgl. CD-ROM, Ordner *HEKTOR_Deutschland\HEKTOR.xls*). Die produzierte Fleischmenge wird aus dem Trend für Pro-Kopf-Verbrauch und Bevölkerungsentwicklung ermittelt und mit der Selbstversorgungsquote multipliziert. Der Geflügelfleischbedarf wird auf die Produktionsverfahren Hähnchen- und Putenmast nach einem festgelegten Verhältnis verteilt. Über die durchschnittlichen Schlachtgewichte von Hühnern und Puten werden die benötigten Tierzahlen bestimmt. Diese werden über Futterpläne und Erträge wiederum in Acker- bzw. Sojafläche umgewandelt.

Die Fläche für die Legehennenhaltung in den Tabellenblättern *Eier 2000 – 2030* (vgl. CD-ROM, Ordner *HEKTOR_Deutschland\HEKTOR.xls*) basiert auf den Trends für den Eiverbrauch. Die Anzahl verbrauchter Eier wird mit der Selbstversorgung laut *DATENEINGABE* verrechnet und auf die Haltungsverfahren aufgeteilt. Über die Legeleistung werden die benötigten Legehennen ermittelt und mittels der Futterpläne und Erträge die zugehörige Ackerfläche und der Sojaimport hochgerechnet. Da die Flächenrelevanz der Geflügelhaltung nur gering ist, wurden zur Vereinfachung Käfig- und Bodenhaltung sowie konventionelle Freiland- und ökologische Eierzeugung in einen Prozess zusammengefasst, die jeweils ähnliche Flächenansprüche aufweisen.

Zwischenergebnis: Flächensalden für die Landwirtschaft

Die Flächenansprüche für die Nahrungsmittelproduktion eines Landes werden in den Tabellenblättern *Flächen 2000 – 2030* (vgl. CD-ROM, Ordner *HEKTOR_Deutschland\HEKTOR.xls*) aufsummiert. Da verschiedene Kulturen – z. B. verschiedene Getreidearten – leicht austauschbar sind, werden die Futter- und Nahrungsmittel zu folgenden Anbaugruppen zusammengefasst:

- Grünland
- Getreide
- Mais
- Kartoffeln und Rüben
- Kleegrasanbau
- Körnerleguminosen
- Soja (nur Flächen im Ausland)

Diese Kategorien werden zunächst für die pflanzliche Produktion und die tierischen Produkte für jeden Stützzeitpunkt separat aufsummiert. Dadurch lassen sich die besonders flächenintensiven Produkte leicht identifizieren und die Stimmigkeit der Ergebnisse besser überprüfen. Anschließend werden die Gesamtsummen der Anbaugruppen um die Selbstversorgungsquote für pflanzliche Produkte korrigiert. Hinzu kommen die pauschalen Flächen, die für Pferde- und Schafhaltung angerechnet werden.

Im Tabellenblatt *ERBEBNISSE-HEKTOR* sind die Ergebnisse des in der *DATENEINGABE* definierten Szenarios für die landwirtschaftliche Flächennutzung dargestellt. Für die Jahre 2000 bis 2030 werden jeweils die Grünland- und Ackerflächen der Nahrungsmittelproduktion aufsummiert. Aus der Differenz zwischen dem Startjahr 2000 und den jeweiligen Stützzeitpunkten errechnen sich Salden an frei werdenden Flächen.

Inwiefern die Flächen später zum Anbau von Energiepflanzen zur Verfügung stehen, hängt von den weiteren Szenarioannahmen ab, die außerhalb des landwirtschaftlichen Teils von HEKTOR berücksichtigt werden, z. B. der Flächenverbrauch für Siedlung und Verkehr. Insofern liefert die Datei HEKTOR also nur Zwischenergebnisse.

Validierung

Um abzuklären, ob die definierten Prozesse die tatsächliche landwirtschaftliche Flächennutzung wiedergeben, wird eine Validierung durchgeführt. Dazu werden die Ergebnisse des Modells für das Basisjahr 2000 mit statistischen Daten zum Anbau im jeweiligen Land verglichen. Die amtliche Statistik eines Landes wird zunächst in der Datei *tierleistung und flächen.xls* für den Vergleich aufbereitet (vgl. CD-ROM, Unterordner *HEKTOR_Deutschland\Länderdaten*).

HEKTOR wandelt die statistische Lebensmittelnachfrage für das Jahr 2000 in Flächen um. Diese werden mit der Statistik der landwirtschaftlichen Flächennutzung für 2000 verglichen. In der Validierung werden nur die variablen Flächen für die Lebensmittelproduktion betrach-

tet. Für konstanten Flächen, z. B. für den industriellen Bedarf oder Verluste basiert bereits die Abschätzung auf der amtlichen Statistik.

Neben den Flächen wurden auch die Tierzahlen, die HEKTOR aus dem Lebensmittelverbrauch errechnet, mit der jeweiligen amtlichen Statistik verglichen. Dies dient neben der Validierung des Modells der Überprüfung der Zwischenergebnisse *Tierzahlen*, die später in die Ermittlung des Güllepotenzials eingehen (vgl. Kapitel 5.7).

Um die Tierbestände in HEKTOR mit der Statistik vergleichbar zu machen, wurden die Bestände aus der amtlichen Statistik zunächst um Lebensdauer und Umtriebe korrigiert oder zusammengefasst. Bei den Tierzahlen aus HEKTOR wurde im Gegenzug der Bestand an Milchkühen mit der Nutzungsdauer multipliziert.

Die Ergebnisse der Modellvalidierung werden innerhalb der Beschreibung des Modellrahmens für jedes Land diskutiert. Da die einzelnen Größen als Indikator für die Modellanpassung dienen, werden größere Abweichungen zwischen HEKTOR und der Statistik innerhalb einer Sensitivitätsanalyse (Kapitel 6.2.1.4) genauer betrachtet.

4.3.3 Flächenbedarf außerhalb der Landwirtschaft

Neben Land- und Forstwirtschaft bestehen in Mitteleuropa weitere Flächenansprüche, die von der Nahrungsmittelproduktion unabhängig sind: Siedlungs- und Straßenbau benötigen Flächen; zudem müssen Ansprüche des Naturschutzes an Ausgleichsflächen und Naturschutzgebieten aus der verfügbaren Fläche abgedeckt werden. Die externen Flächenansprüche werden innerhalb der Datei *flächenverbrauch.xls* (vgl. CD-ROM, Unterordner *HEKTOR_Deutschland\Länderdaten*) berechnet. Dort können auch die Annahmen variiert werden, soweit es die Szenarioformulierung erfordert.

Der zukünftige Flächenverbrauch für Siedlung und Verkehr basiert ebenfalls auf Trendanalysen statistischer Daten. Zudem wurde die zukünftige Bevölkerungsentwicklung in die Fortschreibung einbezogen. Diese Ergebnisse finden sich im Tabellenblatt *Flächenverbrauch* (vgl. CD-ROM, Unterordner *HEKTOR_Deutschland\Länderdaten\flächenverbrauch.xls*). Mit dem Flächenverbrauch werden Acker- und Grünland entsprechend ihrem aktuellen Flächenverhältnis belastet. Die Waldfläche bleibt unberührt, da sie in den betrachteten Ländern in den letzten 15 Jahren mindestens konstant war, während die landwirtschaftlich genutzte Fläche zurück ging (EUROSTAT 2004).

Für Flächenverbauung müssen zumindest in Deutschland Ausgleichsräume geschaffen werden. Diese gehen ebenfalls zu Lasten der landwirtschaftlich genutzten Fläche (Köppel et al. 2004). Da dieser Ausgleichsflächenbedarf von der jeweiligen Rechtslage abhängt, wird seine Berechnung in den speziellen Länderkapiteln betrachtet.

Auch der Naturschutz stellt Ansprüche an die Landnutzung. Einerseits sind dies Anforderungen an die landwirtschaftlichen Produktionssysteme, andererseits werden Flächen eingefordert, die nur dem Naturschutz dienen oder auf denen Naturschutz Vorrang hat. Diese Flächen stehen nicht für den Energiepflanzenanbau zur Verfügung.

Auf dem Tabellenblatt *Fläche Naturschutz* (vgl. CD-ROM, Unterordner *HEKTOR_Deutschland\Länderdaten\flächenverbrauch.xls*) sind die Flächenansprüche für das jeweilige Land quantifiziert, die dem Naturschutz zukünftig zur Verfügung gestellt werden müssen, ebenso

wie Flächen mit Nutzungsaufgaben. Da die Bestimmung dieser Ansprüche ebenfalls von der nationalen Rechtslage abhängt, ist das jeweilige Vorgehen innerhalb der Modell-Rahmendaten der Länder beschrieben (Kapitel 5).

4.3.4 Reststoffpotenziale aus der Landwirtschaft

Neben den Flächen für den Energiepflanzenanbau fallen in der Landwirtschaft auch *Reststoffe* an, die zur Energiegewinnung genutzt werden können (vgl. auch Kapitel 5.7.1). Diese Reststoffe sind direkt an die Nahrungsmittelproduktion gekoppelt und werden aus HEKTOR abgeleitet. Dazu wurden weitere Excel-Dateien mit HEKTOR verknüpft, die auf Änderungen in den Szenarien automatisch reagieren. Vorteil dieser Vorgehensweise ist, dass die Potenzialberechnungen von Anbau- und Reststoffpotenzialen in jedem Szenario konsistent sind.

Potenziale aus der Tierhaltung

Aus der Tierhaltung eignen sich vorwiegend Exkremamente und Einstreu für eine energetische Nutzung. Hinzu kommt ein kleiner Anteil an Futterresten. Um den Anfall dieser Biomasse auch über die Zeit zu quantifizieren, wurde die Datei AUGIAS¹⁸ (vgl. CD-ROM, Ordner *HEKTOR_Deutschland*) zusammengestellt. Da Exkremamente vorwiegend zur Vergärung genutzt werden, berechnet das Modell bereits Biogaspotenziale.

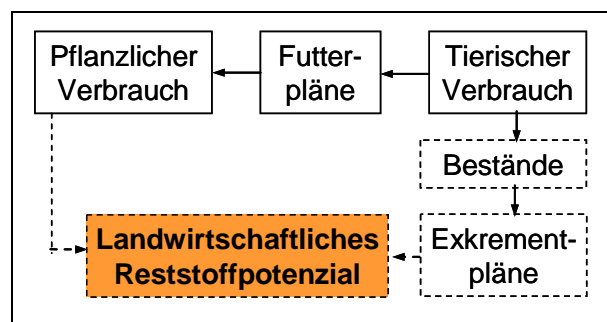
Analog zu den Futterplänen wurden für alle Produktionssysteme so genannte *Exkrementpläne* erstellt, die den Anfall von Gülle und Mist über die Lebenszeit eines Tieres aufsummieren, inklusive Einstreu und Futterresten. Wie die Futterpläne basieren diese auf GEMIS-Prozessen (Öko-Institut 2005). Die Pläne sind auf den Tabellenblättern *Gülle+Festmist pro Rind*, *Gülle+Festmist pro Schwein* und *Festmist pro Geflügel* in der Datei AUGIAS.xls abgelegt. Für die Geflügelproduktion ohne GEMIS-Prozess wurden die Exkrementpläne nach Wilfert et al. (2002) und KTBL (2000) erstellt.

AUGIAS übernimmt aus HEKTOR die Tierzahlen für Rinder, Schweine und Geflügel, die zum jeweiligen Stützzeitpunkt für die Nahrungsmittelproduktion eines Landes gehalten werden (vgl. Abbildung 14) und fügt sie in das Tabellenblatt *Bestände+Kot+Stroh* ein. Hier erfolgt auch die Angabe zur Verteilung zwischen Gülle- und Festmist-Haltungssystemen. Da diese nicht in jedem Fall den Fütterungssystemen entsprechen, kann an dieser Stelle je nach Datenlage eine Umverteilung stattfinden. Pferde- und Schafhaltung werden aufgrund der Freilandhaltung vernachlässigt.

Aus Beständen und Exkrementplänen errechnen sich zunächst Gülle- und Festmistpotenziale für den Gesamtbestand der jeweiligen Region. Im Tabellenblatt *Umrechnungsfaktoren* (vgl. CD-ROM, Ordner *HEKTOR_Deutschland\Augias.xls*) sind die Biogasausbeuten der jeweiligen Substrate nach Wilfert et al. (2002) und KTBL (2000) eingetragen. Aus der Multiplikation mit dem tierspezifischen Exkrementanfall ergeben sich Biogaspotenziale für die verschiedenen Produktionssysteme.

¹⁸ Augias, ein Sohn des Sonnengottes Helios ist in der griechischen Mythologie bekannt als Besitzer unglaublich verdreckter Stallungen: In den Ställen standen 3000 Rinder, seit 30 Jahren war nicht ausgemistet worden. Herakles gelang die Reinigung der Ställe, indem er Flüsse durch die Stallungen leitete und allen Mist wegschwemmen ließ. Bis heute gilt er in Fachkreisen als Erfinder der Gülle, die das Grundsubstrat in den meisten landwirtschaftlichen Biogasanlagen ist.

Abbildung 14: Schema für die Berechnung der Reststoffpotenziale



Gleichzeitig wird ein Mobilisierungsfaktor berücksichtigt, der zum Ausdruck bringt, dass eine Mindestgröße für die Bestände benötigt wird, um Biogas zu erzeugen. Da auch Gemeinschaftsanlagen erst ab einer Mindestbestandsgröße sinnvoll sind, werden sehr kleine Beständen vernachlässigt (vgl. Kapitel 5.7.1.1). Die Minderungsfaktoren hängen von der Bestandsstruktur des jeweiligen Landes ab, die ebenfalls über den Trend bis 2030 fortgeschrieben wird und in der Datei *tierleistung und flächen.xls* abgelegt ist (vgl. CD-ROM, Unterordner *HEKTOR_Deutschland\Länderdaten*). Das Gesamtpotenzial an Biogas aus Exkrementen wird abschließend im Tabellenblatt *Biogaspotenzial* zusammengefasst (vgl. CD-ROM, Ordner *HEKTOR_Deutschland\Augias.xls*).

Potenziale aus dem Pflanzenbau: Stroh

Erntereste, die für die Energieerzeugung verfügbar sind, leiten sich aus der pflanzlichen Produktion in HEKTOR ab. Als trockene Erntereste werden alle Getreidestrohsorten zusammengefasst. Zur Biogaserzeugung stehen dagegen die feuchten Erntereste von Hackfrüchten, vorwiegend Kartoffelkraut und Zuckerrübenblatt zur Verfügung.

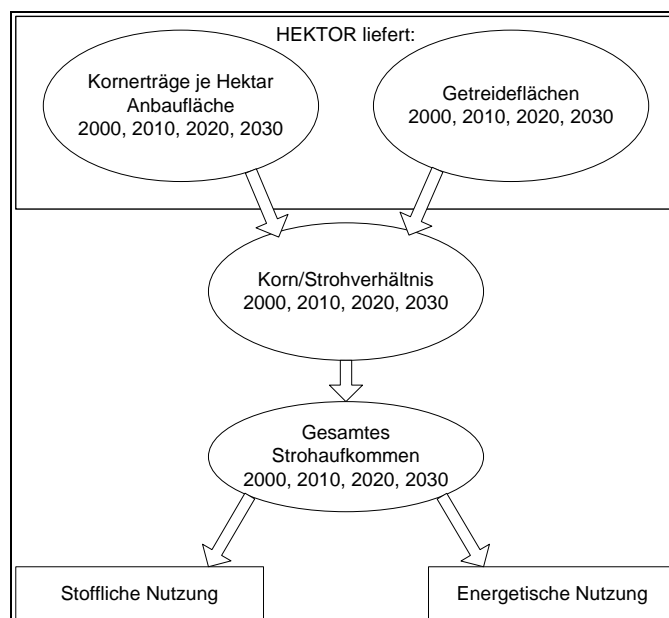
Innerhalb der *Stoffstromanalyse zur nachhaltigen energetischen Nutzung von Biomasse* wurde ein weiteres assoziiertes Modell zu HEKTOR entwickelt, mit dem das Strohpotenzial zur energetischen Nutzung quantifiziert. Das Modell PROMETHEUS¹⁹ wurde zur Ergänzung der Potenzialergebnisse auch in der vorliegenden Arbeit genutzt. PROMETHEUS ist ausführlich im Anhang zum Projektbericht des Projekts dokumentiert (Fritsche et al. 2004a), daher wird hier nur ein kurzer Überblick gegeben.

Die Datei PROMETHEUS.xls (vgl. CD-ROM, Ordner *HEKTOR_Deutschland*) greift zunächst auf die produzierten Getreidemengen nach HEKTOR zu, die sich aus den jeweiligen Anbauflächen und den Kornerträgen zu den verschiedenen Stützzeitpunkten ergeben. Über die Korn-zu-Stroh-Verhältnisse, deren Entwicklung über den gesamten Betrachtungszeitraum fortgeschrieben wird, errechnet sich der gesamte Strohanfall (vgl. Abbildung 15). Aus diesem Strohaufkommen wird zunächst der stoffliche Bedarf für die in der Tierhaltung benötigte Einstreu abgezogen. Diese berechnet AUGIAS.xls für alle Stützzeitpunkte auf dem Tabellenblatt *Bestände+Kot+Stroh* (vgl. CD-ROM, Ordner *HEKTOR_Deutschland*).

¹⁹ „In der griechischen Mythologie verwehrt Zeus infolge eines Betrugs den Menschen die göttliche Gabe des Feuers. Prometheus jedoch ersann eine List: Er näherte sich mit einem leicht entflammaren Stengel (möglicherweise Getreidestroh) dem vorbeifahrenden Wagen des Sonnengottes Helios und fing damit das Feuer ein. Mit dieser Fackel eilte er zu den Menschen und brachte ihnen so das Feuer.“ (Fritsche et al. 2004a, Anhang S. 80)

Neben der Einstreu wird Stroh auch als Bodenverbesserer nachgefragt, um die Humusbilanz auszugleichen. Daher kann nur ein Teil des Strohs energetisch genutzt werden. Ebenso wird ein Mobilisierungsfaktor berücksichtigt, da Stroh aufgrund unterschiedlicher Erntebedingungen nicht immer vollständig abgefahren werden kann.

Abbildung 15: Schema für die Ermittlung des Strohaufkommens



(Quelle: Fritsche et al. 2004)

Potenziale aus dem Pflanzenbau: Sonstige Erntereste

Die Biogaspotenziale aus den feuchten Ernteresten im Hackfruchtanbau (Kartoffelkraut und Zuckerrübenblatt) werden in der Datei RESTSTOFF_sonstige.xls summiert (vgl. CD-ROM, Ordner *HEKTOR_Deutschland*). Das darin enthaltene Tabellenblatt *Stoffpotenzial* greift auf die Produktionsmengen an Kartoffeln und Zuckerrüben für jeden Stützzeitpunkt in HEKTOR zu und errechnet mittels des Produkt-zu-Reststoff-Verhältnisses und des Wassergehalts die Reststoffmenge in Trockenmasse. Anschließend wird ein Mobilisierungsfaktor angesetzt, der Ernteverluste und bei Zuckerrübenblättern die Konkurrenzverwertung als Futtermittel berücksichtigt. Dies ergibt das technische Stoffpotenzial an Ernteresten. Mittels der spezifischen Biogasausbeuten der Substrate werden für jeden Zeitpunkt die Biogas- und damit die Energiepotenziale berechnet. Die Umrechnungsfaktoren sind auf dem Tabellenblatt *Energieausbeute* in der Datei RESTSTOFF_sonstige.xls abgelegt. In diesem Tabellenblatt finden sich darüber hinaus auch die Energieausbeuten aus den übrigen Reststoffen sowie verschiedenen Energiepflanzen.

Für einige Regionen bieten sich aufgrund erheblicher Anbauflächen noch weitere Erntereste wie Ölsaaten- oder Körnermaisstroh zur energetischen Nutzung an. Diese werden für diese Regionen ebenfalls in der Datei RESTSTOFF_sonstige.xls berechnet, in der auch technische Daten, wie Energieausbeute und Stoffaufkommen hinterlegt sind. Die Sonderfälle werden in den Potenzialermittlungen als Exkurs beschrieben (vgl. Kapitel 5.7.1.2).

4.3.5 Ergebnisüberblick für Flächen-, Anbau- und Energiepotenziale

Eine Zusammenfassung der landwirtschaftlichen Biomassepotenziale erfolgt in der separaten Datei *potenzial_ergebnis.xls* (vgl. CD-ROM, Ordner *HEKTOR_Deutschland*). Auf dem Tabellenblatt *Flächenpotenzial* sind die Flächen nach HEKTOR, die außerlandwirtschaftlichen Flächenansprüche, die Flächen mit Bewirtschaftungsauflagen sowie die resultierenden Flächenpotenziale zu jedem Stützzeitpunkt im Überblick dargestellt.

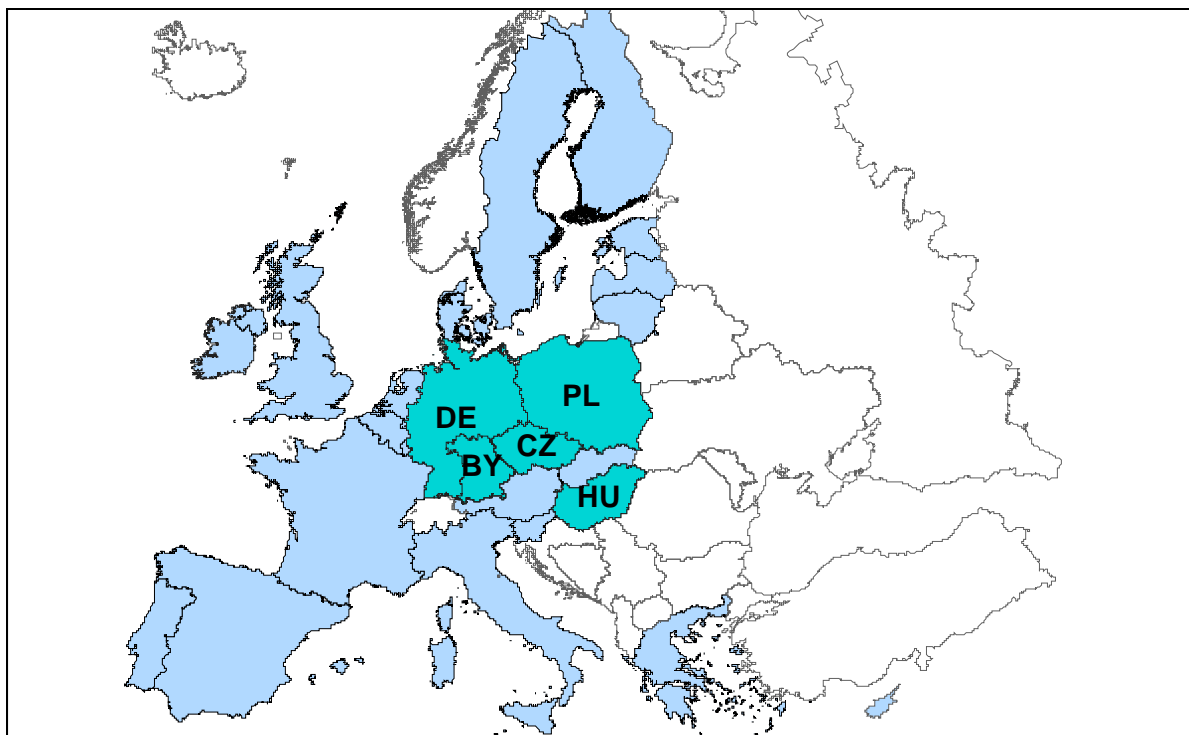
Auf der Tabelle *Anbaupotenzial* werden diese Flächen in Energiepotenziale umgewandelt. Dazu werden zunächst Nutzungsauflagen der jeweiligen Szenarien umgesetzt (Grünland, mehrjährige Kulturen usw.). Auf den frei verfügbaren Ackerflächen wird zudem ein Mix aus Energiepflanzen angenommen, der je nach Szenario und Anbaubedingungen eines Landes verändert werden kann. Die benötigten Daten zu Stoff- und Energieerträge werden aus den Dateien *RESTSTOFF_sonstige.xls* und *erträge.xls* bezogen. Schließlich gibt das Tabellenblatt *Reststoffpotenzial* einen Überblick über die landwirtschaftlichen Reststoffpotenziale.

Soweit zur technischen Beschreibung des Modells HEKTOR. Dieses kann in seiner derzeitigen Form leicht auf weitere Länder angepasst werden. Ausgehend von Deutschland wurde dies bereits für einige Länder und Regionen durchgeführt, so dass eine Modellfamilie vorliegt, die leicht erweitert werden kann. Dafür wird eine relativ breite Basis an länderspezifischen Daten benötigt. Wie diese für die bestehenden Ländermodelle entwickelt wurde, stellt das folgende Kapitel vor.

5 Rahmendaten für die Potenzialermittlung in den ausgewählten Ländern

Um zu untersuchen, welche Chancen sich für die Biomasse in einer erweiterten EU bieten, wurden die Biomassepotenziale mit Hilfe des Modells HEKTOR in Szenarien für ausgewählte Länder und Regionen ermittelt und verglichen. Ausgangspunkt des Modells ist Deutschland (DE). Aus den neuen Mitgliedsstaaten der EU wurden Polen (PL), Tschechien (CZ) und Ungarn (HU) für eine vergleichende Betrachtung ausgewählt. Zusätzlich wird Bayern (BY) für eine differenzierte regionale Betrachtung herangezogen, dessen Landfläche mit einigen Neumitgliedern vergleichbar ist. (Abbildung 16).

Abbildung 16: Europakarte mit Überblick über die betrachteten Länder und Regionen



Auswahlkriterien unter den neuen Mitgliedsstaaten waren Grenznähe zu Deutschland und Bayern bzw. Größe und Agrarfläche eines Landes. Als größtes Neumitglied geht Polen in die Untersuchung ein. Tschechien wird als Grenznachbar betrachtet, der flächenmäßig mit Bayern verglichen werden kann. Aus Sicht der landwirtschaftlichen Biomassepotenziale ist auch Ungarn besonders interessant, das unter den Neumitgliedern mit 67 % den höchsten Agrarflächenanteil an der Gesamtfläche aufweist (EUROSTAT 2004). Die Produktionsbedingungen in den verschiedenen Ländern weisen große Unterschiede auf, die in HEKTOR berücksichtigt werden. Im Folgenden werden diese Rahmendaten detailliert beschrieben.

5.1 Vergleichender Länderüberblick

Deutschland umfasst die größte Gesamtfläche, während Polen die größte landwirtschaftlich genutzte Fläche aufweist (vgl. Tabelle 5). Beide Länder stellen jeweils etwa 10 % der landwirtschaftlich genutzten Fläche der EU-25. Allerdings ist Deutschland doppelt so dicht besiedelt wie Polen. Wesentlich kleiner sind Bayern, Tschechien und Ungarn, die bezüglich

Gesamtfläche und Bevölkerung von ähnlicher Größenordnung sind. In Bayern ist die landwirtschaftlich genutzte Fläche jedoch kleiner.

Tabelle 5: Allgemeine Kenndaten der ausgewählten Länder (2003)

Bezeichnung	Einheit	Deutschland	Bayern	Polen	Tschechien	Ungarn	EU-25
Landgröße	Mio. ha	35,7	7,1	31,3	7,9	9,3	397
Bevölkerung	Mio.	82,5	12,4	38,2	10,2	10,1	454
LF	Mio. ha	17,0	3,3	18,2	4,3	6,2	166
LF pro Kopf	m ²	2.056	2.653	4.420	3.579	6.230	3.660

(Quelle: Bayerisches Statistisches Landesamt 2004; BMVEL 2004; EUROSTAT 2004)

Die betrachteten EU-Neumitglieder verfügen über eine wesentlich höhere landwirtschaftlich genutzte Fläche pro Kopf als Deutschland oder Bayern. Die landwirtschaftliche Biomasse könnte daher in den neuen Mitgliedsstaaten erhebliche Potenziale bieten. Zudem hat die Landwirtschaft dort eine größere Bedeutung für die Gesamtwirtschaft. Dies zeigt z. B. der relativ hohe landwirtschaftliche Anteil an der Bruttowertschöpfung. Sie liegt bei einem Vielfachen des Anteils in Deutschland, der nur noch 0,8 % beträgt (vgl. Tabelle 6).

Tabelle 6: Wirtschaftlicher Kenndaten der ausgewählten Länder (2003)

Bezeichnung	Einheit	DE	BY	PL	CZ	HU	EU-25
Bruttoinlandsprodukt (BIP)	Mrd. €	2.163	371	185	80	74	9.905
Wachstum des BIP	%	-0,1	0,6	3,8	3,1	3	0,9
Anteil der LW an der Bruttowertschöpfung	%	0,8	1,2	2,7	1,8	2,2	1,6
Anteil der Beschäftigten in Land- und Forstwirtschaft	%	2,4	1,6	18,4	4,5	5,8	5,2
Arbeitslosenquote	%	9,7	6,2	19,6	7,8	5,9	9,1
landwirtschaftlicher Export	Mio. €	29.818	4.713	3.820	1.538	2.857	237.096
landwirtschaftlicher Import	Mio. €	41.708	4.576	3.606	2.462	124	231.196

(Quelle: BMVEL 2004; EUROSTAT 2004; StMLF verschiedene Jahrgänge)

Für den Arbeitsmarkt besitzt die Landwirtschaft in den neuen EU-Mitgliedsstaaten eine recht hohe Bedeutung. In Polen arbeitet fast jeder Fünfte in der Landwirtschaft. Ein erheblicher Teil findet Beschäftigung in der Subsistenzwirtschaft, die in Polen erhebliche Anteile der landwirtschaftlichen Produktion bereitstellt (DG AGRI 2002b).

In Tschechien und Ungarn liegt der Beschäftigungsanteil der Landwirtschaft im Durchschnitt der EU-25, also doppelt so hoch wie in Deutschland. Hier kann die Biomasse auch zum Erhalt vieler landwirtschaftlicher Arbeitsplätze beitragen.

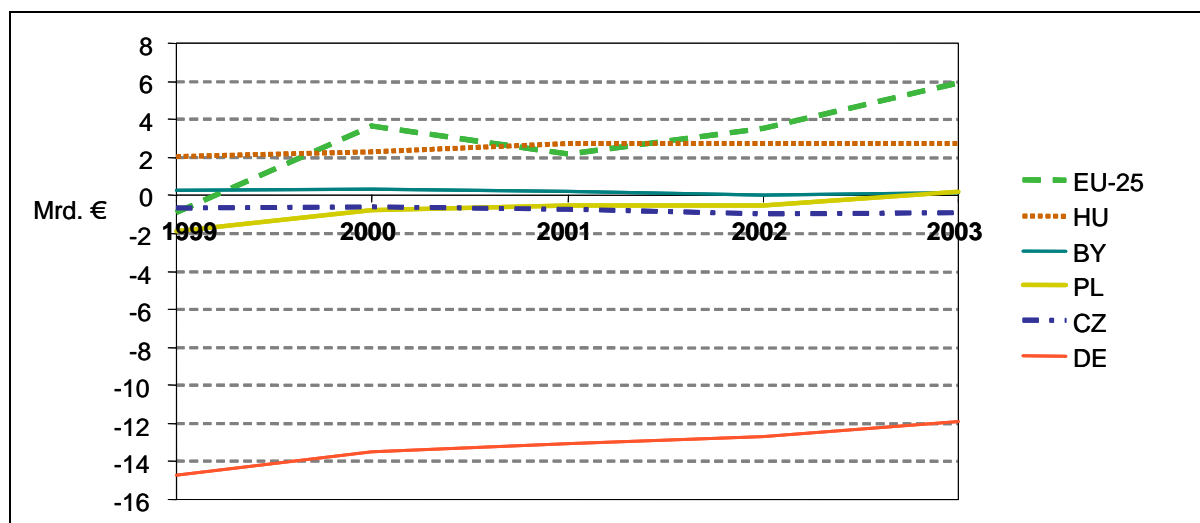
Die Bedeutung der Agrarsektoren der betrachteten neuen Mitgliedsstaaten für die EU relativiert sich durch einen Blick auf die gesamtwirtschaftliche Leistungsfähigkeit. Die polnische Landwirtschaft erwirtschaftete z. B. auf der fünffachen Fläche nur wenig mehr als die bayerische Landwirtschaft (EUROSTAT 2004). Auch die größere wirtschaftliche Dynamik in den betrachteten Mitgliedsstaaten wird daran mittelfristig wenig ändern, da die Gesamtleistung – gemessen am Bruttoinlandsprodukt (BIP) – in den Neumitgliedsstaaten weit hinter Deutschland und sogar Bayern zurückbleibt.

Der Außenhandel des polnischen, tschechischen und ungarischen Agrarsektors hat eine geringe Bedeutung innerhalb der EU. Der Handel mit Agrarprodukten der drei Länder zusam-

men umfasste bisher bei Import und Export nur einen Bruchteil des deutschen Agraraußenhandels. Umgekehrt ist für die mittel- und osteuropäischen Länder der Handel mit der EU-15 von großer Bedeutung, in die sie bis zu 50 % ihrer Agrarprodukte liefern (Heinrich 2004). Seit Beginn der Beitrittsvorbereitungen stieg der Handel mit der EU-15 stark an. Einen Überblick über die relevanten Kennzahlen der Agrarsektoren gibt Heinrich (2004). Für Details der landwirtschaftlichen Sektoren der einzelnen Länder sei auf die folgenden Kapitel 5.2 bis 5.6 verwiesen.

Die Eigenversorgung im Bereich Nahrungsmittel ist in den betrachteten EU-Neumitgliedern höher als in Deutschland (vgl. Abbildung 17).

Abbildung 17: Entwicklung der Außenhandelsbilanzen für Agrarprodukte der ausgewählten Länder in Mrd. €



(Quelle: BMVEL 2004; EUROSTAT 2004; StMLF verschiedene Jahrgänge)

Ungarn konnte in den vergangenen fünf Jahren den Export ausdehnen und Polen wurde in jüngster Vergangenheit vom Nettoimporteur zum Nettoexporteur von Agrarprodukten. Auch Deutschland baute das Versorgungsdefizit im Agrarbereich ab, die Importe sind jedoch noch immer um 40 % höher als die Exporte. Der Vergleich mit der Agrarhandelsbilanz der EU-25 zeigt, dass dieser Trend kein Einzelphänomen ist. Trotz der Produktionseinschränkungen durch Quoten und Stilllegung werden die Exporte aus den EU-Neumitgliedern weiter zunehmen. Dies deutet erhebliche Potenziale der Landwirtschaft für die Erzeugung von Energiebiomasse an.

Da die Energiebiomasse derzeit vorwiegend auf den einheimischen Märkten genutzt wird, hängen die Nutzungsmöglichkeiten auch vom jeweiligen Energiemarkt des Landes ab. Die neuen Mitgliedsstaaten haben einen relativ geringen Anteil am Welt-Primärenergieverbrauch.

Der Primärenergieverbrauch pro Kopf ist in Polen und Ungarn im Vergleich zu Deutschland besonders niedrig (vgl. Tabelle 7). Er wird sich aber mit wachsendem Lebensstandard erhöhen. Bei wachsender Energienachfrage können sich Chancen für die Energieerzeugung aus Biomasse im eigenen Land ergeben, zumal ihr derzeitiger Anteil noch gering ist.

Ganz erhebliche Unterschiede zeigen sich in der Intensität, mit der die Primärenergie genutzt wird. Tschechien sticht besonders hervor, da pro Euro erwirtschaftetem Bruttoinlandsprodukt

gegenüber Deutschland der sechsfache Energieeinsatz benötigt wird. Hier besteht sich ein erhebliches Potenzial zur Reduzierung des Energieeinsatzes durch Effizienzsteigerung.

Tabelle 7: Kenndaten der Energiesektoren ausgewählter Länder (2001)

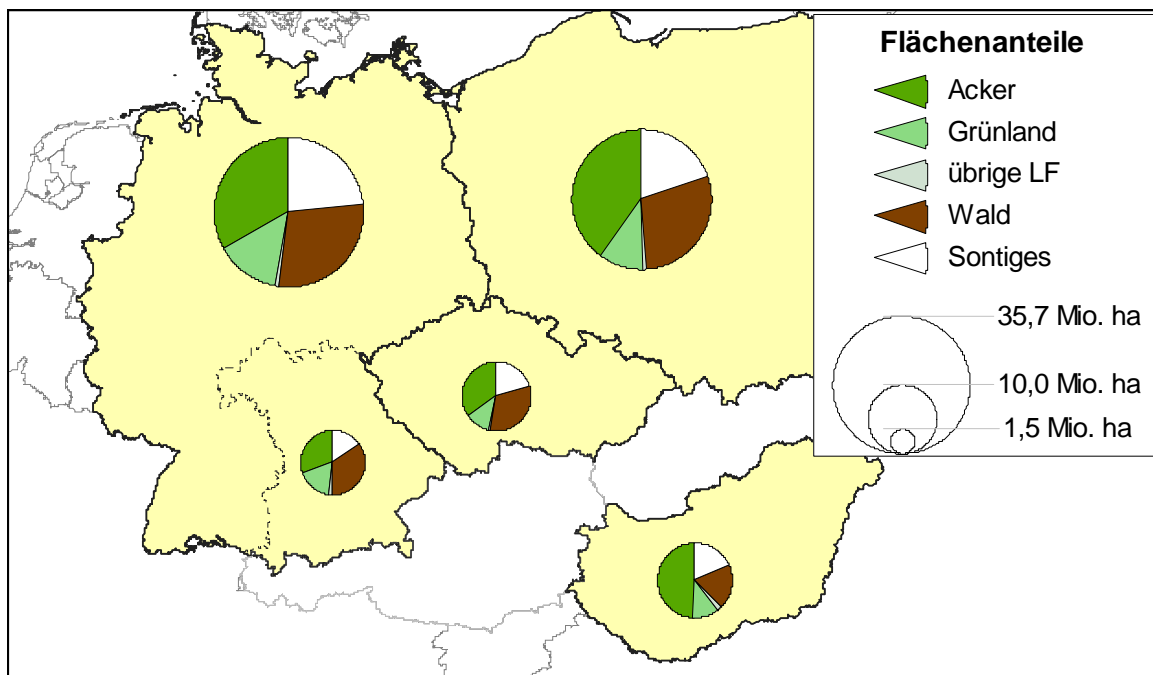
Kennzahl	Einheit	DE	BY	PL	CZ	HU
Primärenergieverbrauch (PEV)	PJ	14.034	2.089	3.672	1.742	1.001
Energieintensität der Wirtschaft (PEV/BIP)	MJ/€	7	6	28	40	25
Primärenergieverbrauch je Einwohner	GJ/Kopf	170	167	95	170	101
Anteil der Biomasse am PEV	%	2	4	4	1	2

(Quellen: StMWIVT 2001; DESTATIS 2004a; b; EUROSTAT 2004)

Die Ziele und Vorgaben der EU im Bereich des Energiemarktes und der erneuerbaren Energien gelten nach dem Beitritt auch für die Neumitglieder. Daher ist in der Energienutzung in den nächsten Jahren ein gewisser Strukturwandel zu erwarten. Chancen für eine erhebliche Ausdehnung der energetischen Nutzung von Biomasse werden durch Fördermaßnahmen, wie etwa dem europäischen *Aktionsplan für Biomasse* (EU-Kommission 2005a) unterstützt. Daran wird die Landwirtschaft teilhaben.

Wie viel die Landwirtschaft schließlich zur Energieversorgung beitragen kann, hängt nicht nur von der Verfügbarkeit der landwirtschaftlich genutzten Fläche ab, sondern auch von ihrer Verteilung. Da Ackerland in allen betrachteten Ländern eine höhere Produktivität aufweist als Grünland, bietet ersteres auch größere Biomassepotenziale zur Energieerzeugung. Zu berücksichtigen sind die neuen Cross-Compliance-Regelungen, die den Umbruch von Grünland zu Ackerland zukünftig einschränken werden (BMVEL 2005b). Abbildung 18 zeigt die Anteile der verschiedenen Landnutzungen in den einzelnen Ländern.

Abbildung 18: Aufteilung der Landesflächen auf verschiedene Nutzungstypen (2003)



(Quelle: Bayerisches Statistisches Landesamt 2004; BMVEL 2004; EUROSTAT 2004)

In Polen und Ungarn stellt die landwirtschaftlich genutzte Fläche besonders hohe Anteile der Landesfläche. Insbesondere in Ungarn findet sich nur ein geringer Waldanteil, fast die Hälfte

der Fläche ist Ackerland. In Polen belegt dies immerhin noch 40 % ein. Die Verteilung der Landnutzung in Tschechien ähnelt der in Deutschland mit 35 % bzw. 33 % Ackerfläche. Bayern verfügt nur über 30 % Ackerland und einen höheren Grünlandanteil von 16 %.

Für die Abschätzung zukünftiger Biomassepotenziale ist insbesondere die mittelfristige Weiterentwicklung der Flächennutzung von Bedeutung. Die folgenden Kapitel betrachten aktuelle Strukturen und Trends in pflanzlicher und tierischer Produktion, woraus Entwicklungen für die Zukunft abgeleitet werden.

Einige Trends verlaufen in allen betrachteten Ländern ähnlich. Daher werden zunächst exemplarisch die Modellannahmen in HEKTOR für Deutschland ausführlich vorgestellt. Für Bayern wurden zahlreiche Trends und Annahmen daraus übernommen. Die HEKTOR-Modelle für Polen, Tschechien und Ungarn folgen derselben Vorgehensweise auf einer anderen Datenbasis. Diese Anpassungen werden für Polen paradigmatisch und ausführlich beschrieben; die Kapitel für Tschechien und Ungarn gehen dann nur mehr auf Abweichungen gegenüber Polen ein (vgl. Kapitel 5.4 bis 5.6).

5.2 Modellannahmen für die Flächennutzung in Deutschland

Das Flächenberechnungsmodell HEKTOR greift auf eine Vielzahl statistischer Daten zurück, die in den so genannten Basisdateien abgelegt sind (vgl. Kapitel 4.3.1). In diesen Länderdateien sind vorwiegend sozioökonomische und landwirtschaftliche Rahmendaten hinterlegt. Aus diesen werden Annahmen über ihre zukünftige Weiterentwicklung abgeleitet. Für Deutschland gehen vorwiegend Daten aus der amtlichen Länderstatistik in das Modell ein (BMVEL 2005a; verschiedene Jahrgänge). Zusätzlich wurde auf internationale Statistiken der Europäischen Union zurückgegriffen (EUROSTAT 2004). Ergänzt werden sie durch Statistiken der Zentralen Markt- und Preisberichtsstelle für Erzeugnisse der Land-, Forst- und Ernährungswirtschaft GmbH, die Daten zum Marktgeschehen liefern (ZMP verschiedene Jahrgänge-b; a).

HEKTOR liegt die Annahme zu Grunde, dass Energiebiomasse nur auf Flächen angebaut wird, die nicht mehr in die Nahrungsmittel- oder Rohstoffproduktion zur stofflichen Verwertung eingehen. Beides erzeugt hochwertige Produkte, die Vorrang vor Energiebiomasse haben (Faaij et al. 1998). Ein großer Teil der in HEKTOR eingehenden Annahmen betrifft daher den Bereich der Nahrungsmittelproduktion.

Im Vergleich zur Nahrungsmittelproduktion nimmt die stoffliche Nutzung nur einen geringen Flächenanteil ein. Flaig et al. (1993) schätzten den Anbau für chemisch-industrielle Biomassenutzung auf bundesweit 210.000 ha mit einer mittel- bis langfristigen Ausdehnung auf 420.000 ha. Wintzer et al. (1993) rechneten bis 2005 mit 420.000 - 840.000 ha landwirtschaftlicher Fläche für die stoffliche Verwertung, die jedoch nicht erreicht wurden: 2004 wurden in Deutschland auf 890.000 ha nachwachsende Rohstoffe (NawaRo) angebaut. Davon entfielen allein 710.000 ha auf Rapsöl, das vorwiegend zu Treibstoff verarbeitet wurde (UFOP 2004). Die Produktion von Industriepflanzen stagnierte dagegen. Dies bestätigt die Annahme von Flaig et al. (1993), dass die stoffliche Biomasseverwertung auch längerfristig keine bedeutenden Flächen einnehmen wird. Die derzeit genutzten Industriepflanzen – vor-

wiegend Stärkepflanzen – werden daher innerhalb der Nahrungsmittelproduktion betrachtet und als konstanter Flächenanspruch bis 2030 weitergeführt (vgl. dazu auch Kapitel 5.2.2.1).

Die Nahrungsmittelproduktion besitzt die größte Flächenrelevanz in HEKTOR. Die Produktion ist wiederum durch die Lebensmittelnachfrage bestimmt. Für die Umsetzung in eine Flächennachfrage sind zahlreiche landwirtschaftliche Rahmendaten entscheidend. Entlang der Modelllogik wird zunächst deren Entwicklungen beschrieben. Anschließend wird der Modellrahmen für den zukünftigen Flächenbedarf außerhalb der Nahrungsmittelproduktion abgesteckt, wobei die Ausdehnung von Siedlungs- und Verkehrsflächen sowie Naturschutzflächen berücksichtigt werden.

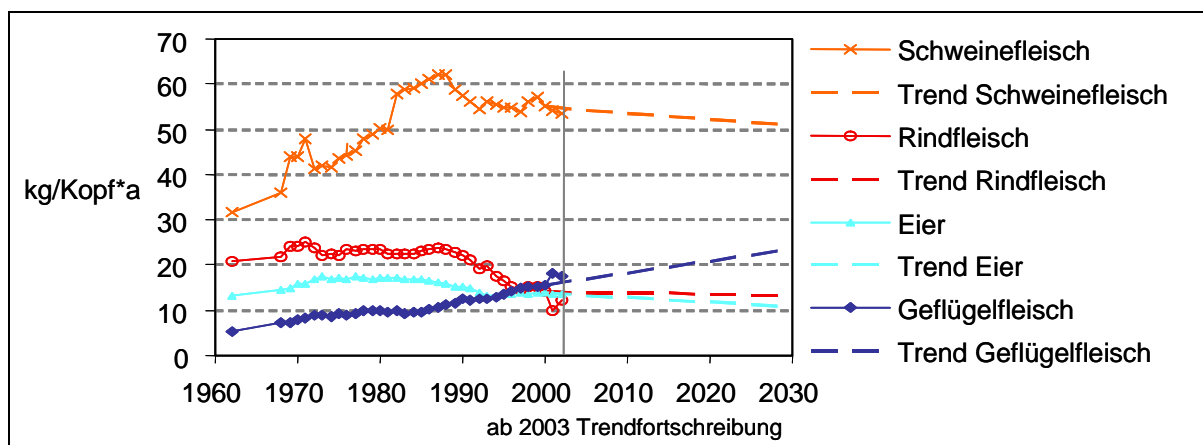
5.2.1 Nahrungsmittelbedarf

Die Landwirtschaft wirkt nur wenig auf den Nahrungsmittelbedarf ein, der aber wiederum die Produktion entscheidend beeinflusst. Die Nutzung der landwirtschaftlichen Flächen hängt davon ab, welche und wie viel Nahrungsmittel nachgefragt werden. Aus dem Pro-Kopf-Verbrauch und der Bevölkerungszahl lässt sich der Gesamtlebensmittelverbrauch in Deutschland hochrechnen. Die zukünftige Bevölkerungsentwicklung ist der Studie der Enquete-Kommission zur nachhaltigen Energieversorgung (Enquete 2002) entnommen (vgl. Anhangstabelle 1). Diese Studie rechnet in Deutschland bis 2020 mit einer Stagnation und bis 2030 mit einem Einwohnerrückgang auf 78 Mio.

Neben der Bevölkerung werden auch die Trends im Pro-Kopf-Verbrauch der wichtigsten Lebensmittel fortgeschrieben. Für HEKTOR sind dabei die Nahrungsmittel von großer Bedeutung, deren Erzeugung im Inland große Flächenanteile beansprucht.

In den letzten 40 Jahren stieg der Fleischkonsum an, während der von Kartoffeln und Getreide mit Ausnahme von Weizen stetig sank. Der Verbrauch von Gemüse und Obst nahm zwar seit den 60er Jahren deutlich zu, der Anbau nimmt jedoch in Deutschland nur eine geringe Fläche ein und wird im Weiteren nicht betrachtet. Abbildung 19 zeigt den Verbrauch tierischer Lebensmittel in Deutschland vor und nach der Wiedervereinigung.

Abbildung 19: Verbrauch tierischer Lebensmittel in Deutschland nach 1960* und Trends bis 2030



*vor 1990 nur damalige BRD

(Datengrundlage: BMVEL verschiedene Jahrgänge und eigene Berechnungen)

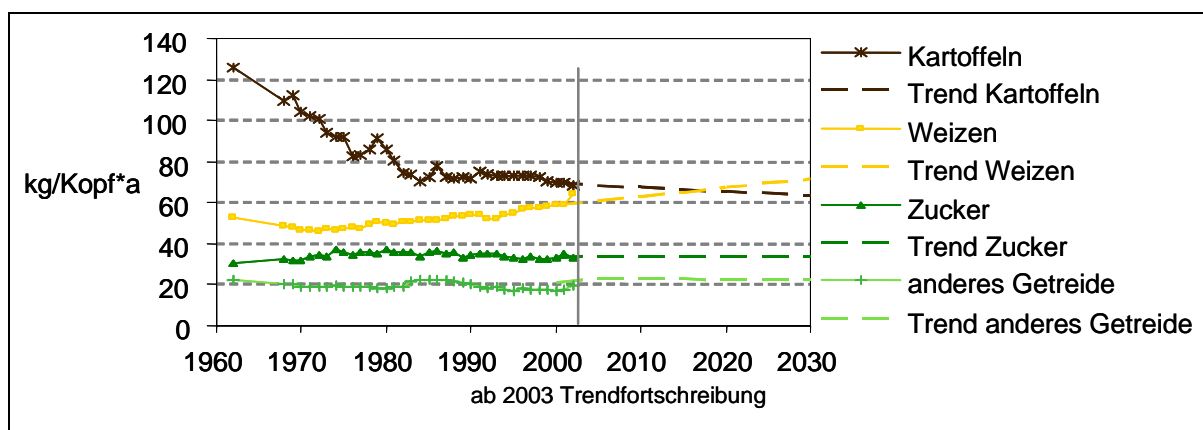
Deutlich wird der wachsende Verbrauch von Schweine- und Geflügelfleisch. Der Rindfleischverbrauch stagnierte dagegen und brach in den 90er-Jahren im Zuge der BSE-Krise ein. Bei Rind und Schwein fällt ein Verbrauchsrückgang für Deutschland nach 1990 auf, während der Verbrauch von Milchprodukten und Eiern stagnierte.

Bei vielen Produkten wird der Verbrauchstrend bis 2030 entlang der Entwicklung in der Vergangenheit fortgeschrieben. Dies geschieht mittels linearer Regression auf Basis der statistischen Daten seit den 60er-Jahren (BMVEL verschiedene Jahrgänge). Bei einigen Lebensmitteln führt dieses Vorgehen zu keinem schlüssigen Ergebnis. Die Statistik zeigt, dass sich die Verzehrsgewohnheiten vor 1990 in der damaligen BRD und der DDR unterscheiden – infolge dessen ergibt sich ein Trendwechsel in der Verbrauchskurve für diese Nahrungsmittel nach 1990 in Gesamtdeutschland.

Die Fortschreibung des Verbrauchs beim Geflügelfleisch- und Eiverbrauch folgt dem langfristigen Trend seit 1960. Die Trends bei den Lebensmitteln, deren Verbrauch sich zu Zeiten der DDR in beiden deutschen Staaten unterschiedlich entwickelte, wurden daher je nach Produkt mit anderen Bezugszeiten berechnet: Der Trend bei Schweinefleisch wurde nur aus den Daten nach 1990 errechnet. Da bei Rindfleisch der Trend zusätzlich durch die BSE-Krise überlagert wird, basieren die Annahmen für den zukünftigen Verbrauch auf der Entwicklung vor 1990, die auf das Niveau von 2000 übertragen und bis 2030 weitergeführt wird.

Bei den pflanzlichen Produkten unterschied sich der Verbrauch in beiden deutschen Staaten weniger als bei Fleisch, entsprechend wirkte sich die Wiedervereinigung weniger auf den Verlauf der Kurve aus. Abbildung 20 zeigt den Verbrauch nach einzelnen Produkten und die angenommenen Trends bis 2030.

Abbildung 20: Verbrauch pflanzlicher Lebensmittel in Deutschland nach 1960* und Trends bis 2030



*vor 1990 nur damalige BRD

(Datengrundlage: BMVEL verschiedene Jahrgänge und eigene Berechnungen)

Die Verbrauchstrends basieren für die meisten Produkte auf der langfristigen Entwicklung seit den 60er-Jahren. Ausnahme ist der Kartoffelverbrauch, der in der damaligen BRD bereits vor der Wiedervereinigung stagnierte. In die Trendberechnung wurden nur die Daten ab 1980 einbezogen.

Die Multiplikation von Verbrauch und Bevölkerung ergibt einen insgesamt sinkenden Nahrungsmittelverbrauch. Nur bei wenigen Produkten, vor allem Weizen und Geflügelfleisch, steigt der Gesamtverbrauch bis 2030 trotz sinkender Bevölkerung an.

5.2.2 Annahmen zur Landwirtschaft

Ausgehend vom Nahrungsmittelverbrauch wurden zahlreiche Annahmen getroffen, wie die Landwirtschaft den Nahrungsmittelbedarf deckt. Sie spiegeln die Zukunft der deutschen Landwirtschaft wider, für die auch künftig die Gemeinsame Agrarpolitik der EU den Rahmen bildet. Diese wird sich weiterhin im Spannungsfeld zwischen Anforderungen der WTO (World Trade Organisation) und den europäischen Zielen für eine multifunktionale Landwirtschaft weiterentwickeln (Heissenhuber et al. 2000). Neben der GAP wird die Weiterentwicklung der Landwirtschaft durch die im Mai 2004 erfolgte EU-Osterweiterung geprägt werden (Frohberg 2001). Die zukünftigen Verhandlungen innerhalb der WTO werden Druck auf die EU ausüben, weiter zu liberalisieren und sich dem Weltmarkt anzupassen (Heissenhuber 2002; Agra-Europe 2004). Insgesamt wird sich Deutschland als Teil der EU auch zukünftig in die Weltmärkte integrieren. Diese lassen zukünftig eine höhere Nachfrage an Lebensmitteln erwarten, die hauptsächlich in Entwicklungsländern generiert wird (FAO 2003).

Derzeit geben die Agenda 2000 (EU-Kommission 1999a; BMVEL 2002a; b) und die *Fischler-Reform* von 2003 die Entwicklung der Landwirtschaft in Deutschland vor (Rat der EU 2003; BMVEL 2005b). Nach Möglichkeit wurden Wirkungsabschätzungen und bereits erkennbare Auswirkungen für beschlossene Maßnahmen im Modell berücksichtigt.

In der Folge wird sich der Strukturwandel, der Arbeit durch Kapital substituiert in der Landwirtschaft fortsetzen und verstärken. Ökologische Landwirtschaft und integrierter Landbau werden immer größere Bedeutung erlangen (Knickel 2002). Die Förderung der Landwirtschaft wird aufgrund der Haushaltssituation in der EU unter größerem Rechtfertigungsdruck stehen (Heissenhuber 2005). Dem trägt bereits die aktuelle GAP-Reform Rechnung. Neben der Entkopplung der Prämien von der Produktion müssen Umweltkriterien im Rahmen der Cross-Compliance-Regelungen verstärkt berücksichtigt werden²⁰. Zudem werden Mittel für die Förderung von Umweltschutz und ländlicher Entwicklung mittels Modulation umgeschichtet (Kapfer et al. 2001; BMVEL 2005b). Ökologische Produkte, Qualitätsprodukte und regionale Vermarktung werden zwar einen relevanten Anteil einnehmen, jedoch keine Priorität erlangen. Für die tierische Erzeugung werden sich eher Chancen auf den heimischen Märkten ergeben, zumal bei der internationalen Wettbewerbsfähigkeit Defizite bestehen (Sundrum 2005). Die Neuausrichtung von Landwirtschaft und Agrarpolitik wird sich jedoch über einen längeren Zeitraum hinziehen, um die finanziellen Belastungen für einzelne landwirtschaftliche Bereiche abzufedern (Heissenhuber 2001).

Lediglich in einigen Fällen wird Deutschland einen Sonderweg einschlagen, etwa bei den erhöhten Anforderungen in der Tierhaltung (BMVEL 2002c). Deutsche Haltungsvorschriften z.B. für Legehennen werden aber nicht zum europaweiten Standard.

Aufbauend auf den zukünftigen Rahmenbedingungen für die Landwirtschaft werden konkrete Annahmen für die Weiterentwicklung von Pflanzenbau und Tierhaltung getroffen – diese sind

²⁰ Dies ist auch eine Reaktion auf die WTO-Forderungen, handelsverzerrende Subventionen abzubauen.

vorwiegend in den Basisdateien des Modells abgelegt. Um die Auswirkungen unterschiedlicher technischer und politischer Entwicklungen abbilden zu können, wurden für jeden Bereich verschiedene Produktionsprozesse definiert, die sich in Intensität und Art des Inputs bzw. des Outputs unterscheiden. In den folgenden Kapiteln werden die bisherigen Entwicklungen sowie die daraus abgeleiteten Annahmen im Detail erläutert.

5.2.2.1 Pflanzenbau

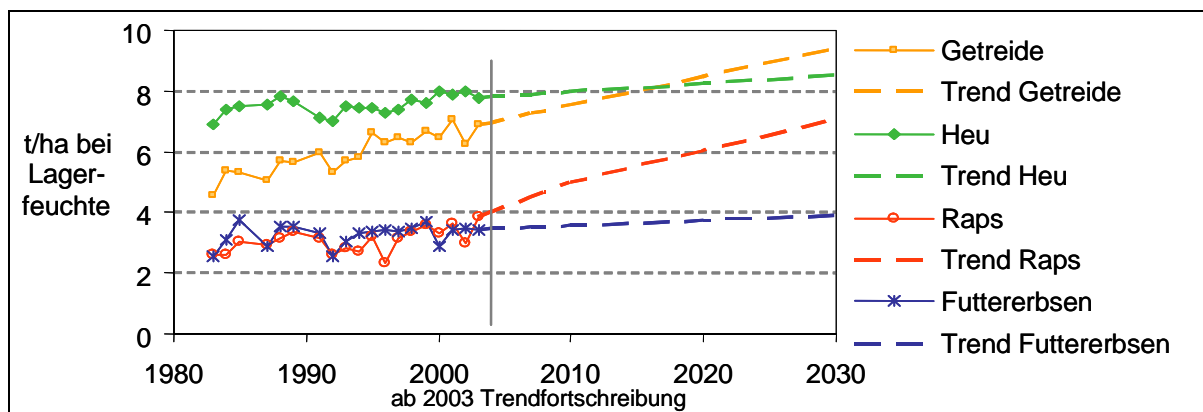
Ein entscheidender Faktor für einen veränderten Flächenbedarf im Pflanzenbau ist der Ertrag. Dieser ist in der Vergangenheit bei allen Kulturen in unterschiedlichem Ausmaß gestiegen. Der konstante Trend wurde nach der Wiedervereinigung kurzzeitig unterbrochen, als das niedrigere Ertragsniveau in den neuen Bundesländern die gesamtdeutschen Erträge minderte.

Um in HEKTOR verschiedene Entwicklungen im Pflanzenbau abzubilden, wurden je ein konventioneller und ein ökologischer Produktionsprozess definiert. Für die Ermittlung des Flächenbedarfs für die Landwirtschaft sind vor allem die deutlichen Ertragsdifferenzen wichtig. In HEKTOR werden die beiden Systeme nur nach ihrem Ertragspotenzial unterschieden, daher können die beiden Systeme auch als „intensive“ und „extensive“ Pflanzenproduktion betrachtet werden. Das Modell trifft dabei keine Aussagen über den jeweiligen Input des Systems.

Fortschreibung der Erträge im konventionellen Landbau

Abbildung 21 zeigt die Ertragsentwicklungen einiger wichtiger Kulturen in Deutschland in der konventionellen Landwirtschaft sowie die Trendfortschreibungen für HEKTOR. Auch in Zukunft wird es bei ungebrochen steigender Produktivität durch technischen Fortschritt bleiben (Knickel 2002). Für Getreide wird das höchste Potenzial erwartet (Kley 1999).

Abbildung 21: Ertragsentwicklung ausgewählter Kulturen seit 1980 für Deutschland* und Trends bis 2030



*vor 1990 nur damalige BRD

(Datengrundlage: BMVEL verschiedene Jahrgänge und eigene Berechnungen)

Zwar wird vom International Food Policy Research Institute (IFPRI) eine Verlangsamung des Ertragswachstums vorhergesagt, wenn fallende Preise für Getreide eine Verringerung des Investitions- und Betriebsmitteleinsatzes bedingen (Pinstrop-Anderson et al. 1999). In einem Expertenworkshop innerhalb des Projektes *Stoffstromanalyse zur nachhaltigen energetischen Nutzung von Biomasse* zum Thema *Weiterentwicklung der Landwirtschaft* wurde jedoch die Auffassung vertreten, dass stagnierende oder sinkende N-Gaben dank zukünftig verbesserter

N-Aufnahme und Verwertung durch die Kulturpflanzen keinen negativen Einfluss auf das Ertragsniveau haben werden (Öko-Institut 2003). Im Expertengespräch wurden lineare Trends für den Ertragszuwachs von Marktfrüchten diskutiert, die auch ohne den Einsatz von Gentechnik bis 2030 erreicht werden können.

Auch Ewert et al. (2005) zeigen, dass die Fortschreibung der Erträge mittels linearer Regression die Ertragsfortschritte annähernd erklärt, die sich in unterschiedlichen Aspekten des technischen Fortschritts begründen. Daher werden für die Abschätzung zukünftiger Erträge in HEKTOR die bisherigen Trends mit Hilfe von linearen Regressionen fortgeschrieben, die auf den Ertragsdaten ab 1980 basieren. Ausnahme sind Roggen und Körnermais, in deren Regressionen nur die Erträge nach 1990 bzw. 1994 verrechnet werden.

Für Raps und Rübsen sind aufgrund des wachsenden Interesses in nächster Zukunft größere Ertragssteigerungen zu erwarten, die sich langfristig auf die Zuwachsrate von Getreide einpendeln (OECD/FAO 2004). Bei nachlassendem ökonomischem Interesse, z. B. an Kartoffeln gehen die Ertragssteigerungen eher zurück (Öko-Institut 2003).

Fortschreibung der Erträge im ökologischen Landbau

Mit Modell wird auch die Wirkung des höheren spezifische Flächenbedarf der ökologischen Landwirtschaft auf das Flächenpotenzial untersucht. Daher werden auch für den ökologischen Pflanzenbau Ertragsentwicklungen bis 2030 fortgeschrieben. Der geringe Anteil von 3,6 % der Betriebe bzw. 4,1 % der Fläche (2000) stellt keine repräsentative Basis und die statistischen Zeitreihen zur ökologischen Landwirtschaft sind sehr kurz, weswegen diese für eine Fortschreibung nicht genutzt werden können.

Seit einigen Jahren werden an der Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft (FAL) in Braunschweig Studien durchgeführt, welche die relativen Ertragsunterschiede zum konventionellen Landbau für Deutschland bzw. die EU-15 untersuchen. Diese wurden für die vorliegende Arbeit ausgewertet (Bockisch 2000; Offermann 2003). Tabelle 8 zeigt die für HEKTOR angenommenen Ertragsunterschiede.

Tabelle 8: Ertragsdifferenz zwischen konventionellem und ökologischem Landbau für Deutschland

Kultur	Differenz
Getreide	-29 bis - 39 %
Körnerleguminosen	-26 %
Mais	-29 %
Wiesen und Weiden	-20 %
Zuckerrüben	-10 %
Kartoffeln	-40 %
Raps	-37 %

(Quelle: Offermann 2003)

Zudem wurde die Weiterentwicklung dieser Ertragsunterschiede mit Agrarexperten diskutiert. Beim Einsatz von gentechnisch veränderten Sorten im konventionellen Anbau würde die Spanne zwischen den konventionellen und ökologischen Erträgen wachsen, da der ökologische Landbau dann vollständig eigene Zuchtlinien benötigt. Unter den gegenwärtigen Bedingungen wird sich die Relation nicht vergrößern. Zukünftig hängt dies aber vor allem

von der Akzeptanz und Verbreitung der Gentechnik im konventionellen Landbau abhängig sein wird (Öko-Institut 2003).

In Bezug auf die Flächenansprüche sind die getroffenen Annahmen eher als konservativ einzustufen. Besonders bei Körnerleguminosen wird der Unterschied zwischen beiden Anbauformen weiterhin relativ gering bleiben, da hier der Einfluss der Produktionstechnik insbesondere in Bezug auf mineralischen Stickstoffdünger gering ist. Die Ertragsdifferenzen zwischen ökologischem und konventionellem Landbau (vgl. Tabelle 8) werden daher für den gesamten Zeitraum konstant beibehalten.

Entwicklung der Bewirtschaftungsintensität und des Anbauspektrums

Im Anbauspektrum nahm in der Vergangenheit der Getreideanteil zu, während der Grünlandanteil gesunken ist. Dies ist nur ein Indikator für die steigende Intensität der Bewirtschaftung. Diese Entwicklungen wurden stark durch die Agrarpolitik, insbesondere die GAP der EU, die Entwicklung der Märkte und deren Wechselwirkungen bestimmt.

Mit der Agenda 2000 wurde eine europäische Agrarreform begonnen, welche die europäische Landwirtschaft zukünftig stärker marktorientiert und gleichzeitig umweltgerecht entwickeln soll (EU-Kommission 1999a). Die GAP-Reform von 2003 führt dies mit der Entkopplung der Flächenprämien weiter. In Deutschland wird diese als Kombimodell zunächst in Form von Betriebsprämien ausgeführt, die langfristig in regional einheitliche Hektarprämien überführt werden sollen (BMVEL 2005b). Orientiert sich der Anbau dann noch stärker an Marktgegebenheiten und Preisen, wird dies auch das Anbauspektrum beeinflussen.

In Deutschland betreffen die Beschlüsse besonders stark den Roggenanbau. Außerdem könnten der Anteil und die räumliche Verteilung von Stilllegungsflächen betroffen sein. Daneben wird es zu Verschiebungen in der Futterbasis für Rinder kommen und heimische Eiweißpflanzen werden weiter an Vorzüglichkeit verlieren (Kleinhanß et al. 2002b; Kreins et al. 2002; Isermeyer 2003b). Anbauverschiebungen innerhalb einer Kulturgruppe, z.B. zwischen verschiedenen Getreidesorten, wirken sich kaum auf die Flächensalden in HEKTOR aus, solange eine Frucht durch eine andere ersetzt wird. Die Freisetzung von Flächen in Form von Stilllegung, ist jedoch als Flächenpotenzial für den Energiepflanzenanbau interessant.

Der Wandel in den Anbauverhältnissen für verschiedene Gruppen von Ackerkulturen bildet HEKTOR über die Variation der Selbstversorgungsgrade²¹ ab. Im Bereich Pflanzenbau können die Selbstversorgungsquoten für Getreide und Zucker variiert werden. Letztere könnte sich durch eine Reform der Zuckermarktordnung stark verändern. Da die Auswirkungen der Zuckermarktreform derzeit noch unbekannt sind, wird eine veränderte Zuckerproduktion in Deutschland innerhalb der Szenarien betrachtet.

Nach den Reformen der GAP der EU wirken sich Preisveränderungen an den Märkten zukünftig stärker auf den Anbau aus. Diese Marktentwicklungen sind szenariorelevant und verändern die Flächenpotenziale für Energiebiomasse. In HEKTOR fließen diese Entwicklungen daher indirekt in Form von Selbstversorgungsquoten ein. Diese müssen als Eingabe-

²¹ Die Annahme verschiedener Selbstversorgungsgrade spiegelt nicht das etwaige Ziel einer Selbstversorgung wider (normativer Ansatz), sondern wurde als eine einfache Stellschraube gewählt, die die Wettbewerbsfähigkeit der deutschen Landwirtschaft je nach Produkt darstellt (quasi im Sinne eines prognostischen Ansatzes).

parameter durch den Benutzer gewählt werden. Die Auswirkung variierender Selbstversorgungsgrade wird daher ebenfalls innerhalb der Szenarien in Kapitel 6 betrachtet.

Als gesichert kann die Zukunft der Stilllegung gelten, die nach den Luxemburger Beschlüssen auch künftig für den Anbau nachwachsender Rohstoffe zur Verfügung steht (Rat der EU 2003). Diese Fläche umfasste zwischen 1999 und 2002 im Durchschnitt etwa 1,13 Mio. ha Ackerfläche in Deutschland. Davon waren 2,2 % dauerhaft ökologische Brache, auf der kein Anbau stattfindet. Das Flächenpotenzial aus der Stilllegung beträgt damit im Basisjahr 2000 in Deutschland 1,1 Mio. ha. Auf 330.000 ha werden bereits nachwachsende Rohstoffe angebaut (BMVEL 2003). Diese Flächen werden derzeit nicht zur Nahrungserzeugung genutzt. Sie werden daher am Ende pauschal zum in HEKTOR ermittelten Flächenpotenzial für den Anbau von Energiepflanzen addiert.

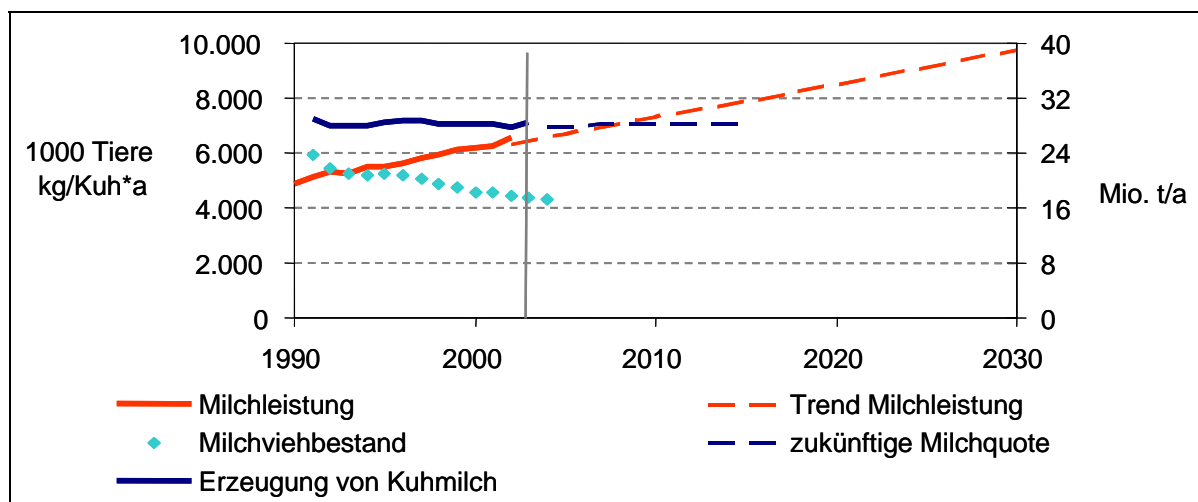
5.2.2.2 Rinderhaltung

Der größte Flächenbedarf innerhalb der Tierproduktion entfällt auf die Rinderhaltung. Dies resultiert aus der Produktion von zwei unterschiedlichen Lebensmitteln – Fleisch und Milch. Außerdem verwertet die Rinderhaltung Grünland, das eine geringere Produktivität als Ackerland aufweist. Um die gegenseitige Abhängigkeit abzubilden, wird Rindfleisch im Modell als Koppelprodukt der Milcherzeugung betrachtet, das durch Rindfleisch aus Mutterkuhhaltung ergänzt wird. Die zukünftige Flächennutzung durch Rinder wird daher am stärksten durch die Milchviehhaltung und deren Weiterentwicklung im Hinblick auf Grünland- und Ackerlandnachfrage beeinflusst.

Milchvieh

Die jährlich produzierte Milchmenge in Deutschland ist seit Einführung der Quotenregelung 1984 relativ konstant. Eine Ausnahme stellt der Anstieg der Produktion nach 1990 dar, der auf die Wiedervereinigung zurückgeht. Da sich die Milchleistung pro Kuh seither kontinuierlich erhöhte, wurden die Milchkuhbestände proportional abgestockt (vgl. Abbildung 22).

Abbildung 22: Entwicklungen in der Milcherzeugung in Deutschland seit 1990 und zukünftige Milchquote und Trend der Milchleistung bis 2030



(Datengrundlage: BMVEL verschiedene Jahrgänge und eigene Annahmen)

Die Entwicklung der Milchproduktion wird auch zukünftig von der Quote abhängen. Dies trifft mindestens bis 2015 zu, da die Quote nach den Luxemburger Beschlüssen bis dahin

verlängert und gleichzeitig um 1,5 % erhöht wird (EU-Kommission 1999a; Sundrum 2005). Unter diesen Rahmenbedingungen geht eine Studie des Umweltbundesamtes von einer jährlichen Leistungssteigerung beim Milchvieh bis 2010 von 2,28 - 2,54 % aus, ähnlich der jährlichen Wachstumsrate seit 1990 (Döhler et al. 2002). Nach Flachowsky et al. (2002) kann bis 2025 eine Milchleistung von durchschnittlich 8500 kg/Kuh*a erreicht werden.

Für HEKTOR wurde die Entwicklung der Milchleistung linear fortgeschrieben (vgl. Abbildung 22). Bis 2020 erreicht die mittlere Milchleistung bereits 8500 kg/Kuh*a und bis 2030 steigt die Leistung auf ca. 9700 kg/Kuh*a an. Für diese Leistungssteigerungen ist auch ein höherer Kraftfuttereinsatz zu erwarten, weswegen die Futterpläne über die Zeit an den steigenden Bedarf angepasst werden.

Demgegenüber wird im Ökolandbau eine geringere Milchleistung pro Kuh erbracht (Krutzinna et al. 1996; Offermann 2003). Ähnlich wie im Pflanzenbau wurde die Leistungsdifferenz von 15 % zwischen konventionell und ökologisch gehaltenen Milchkühen über den gesamten Zeitraum beibehalten. Die in HEKTOR angenommenen Leistungen und Trends bis 2030 zeigt Tabelle 9.

Die Milchviehhaltung in Deutschland wird in HEKTOR durch vier Produktionsprozesse repräsentiert, denen jeweils ein Futterplan für die gesamte Lebenszeit des Nutztieres gegenübersteht. Diese Produktionsprozesse wurden in Anlehnung an die entsprechenden Prozesse in GEMIS definiert (Öko-Institut 2005). Sie unterscheiden sich hinsichtlich der Leistung und Futterbasis und bilden so verschiedene Intensitäten ab.

Tabelle 9: Produktionsprozesse in der Milcherzeugung für Deutschland

Bezeichnung	Milchkuh Maissilage	Milchkuh Grassilage	Milchkuh Weide	Milchkuh Öko
Futterbasis 2000 (in TS)	Maissilage 46 % Grassilage 32 % Soja 9 %	Grassilage 53 % Maissilage 20 % Getreide 11 %	Grünland* 72 % Getreide 12 % Maissilage 8 %	Grünland* 72 % Körnerleguminosen 12 % Getreide 10 %
Milchleistung [kg/Kuh*a]	2000: 6.100 2030: 9.700			2000: 5.100 2030: 8.300
Mistsystem	Flüssigmist 60 % Flüssigmist + Weidegang 25 % Festmist + Weidegang 15 %			Festmist + Weidegang

*Grünland: Grassilage, Weidegras und Heu zusammengefasst

(Quelle: Öko-Institut 2005 und eigene Annahmen)

Neben der Fütterung werden so genannte *Mistsysteme* definiert, die in den assoziierten Modellen AUGIAS und PROMETHEUS zur Potenzialberechnung für Biogas Exkrememente dienen (vgl. Kapitel 5.7.1.1). Die Mistsysteme unterscheiden nur nach Menge und Art der anfallenden Exkrememente in Festmist, Gülle, und Weidegang bei Rindern. Sie treffen keine Aussagen über Aufstallungsart oder Entmistungssystem. Die Anteile an Festmist, Gülle und Weidegang der in konventionellen Produktionsprozessen gehaltenen Milchkühe geschieht in Anlehnung an Döhler et al. (2002).

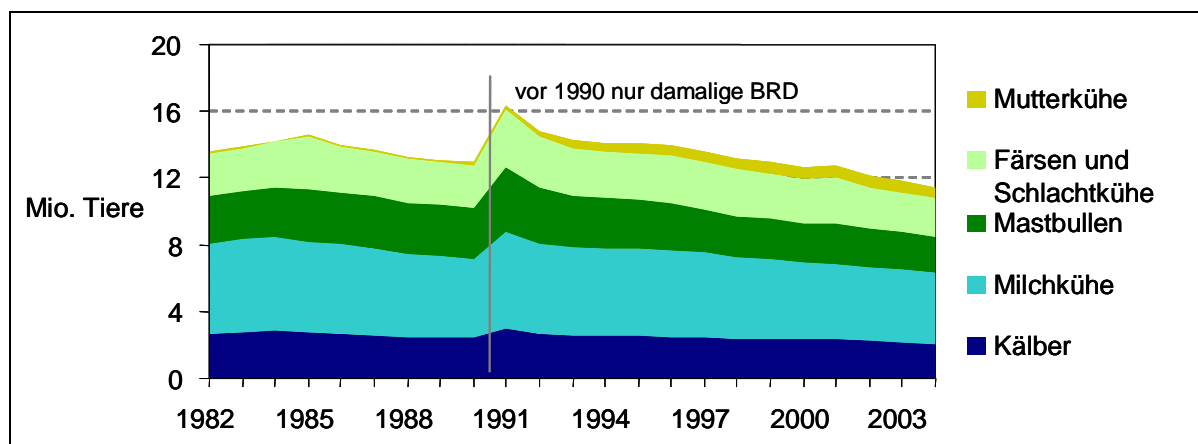
Die Milchproduktion hängt neben der Quote stark vom Preis ab, der in der Vergangenheit weitgehend an den Interventionspreis gekoppelt war. Durch dessen Senkung mit der aktuellen GAP-Reform wird der Anreiz zur Milchproduktion weiter verringert (Heißenhuber et al.

2005b). Daraus folgt eine konstante Milchproduktion bis 2015, wobei der Milchviehbestand proportional zur Leistungssteigerung abnimmt. Auch nach Abschaffung der Quote ist ein langfristiger Importschutz über einen Zeitraum von 10 - 20 Jahren wahrscheinlich, wobei für Deutschland kaum Exportchancen entstehen werden (Isermeyer 1999). Mit einer Zunahme der Milchproduktion bei Abschaffung der Quote rechnen allerdings Kleinhanß et al. (2002a). Für das Modell wird daher nach 2015 mit einem Anstieg um 5 % und anschließend konstanter Produktionsmenge gerechnet.

Mastrinder

Die Mastrinderbestände entwickelten sich in der Vergangenheit parallel zu den Milchviehbeständen (vgl. Abbildung 23). Diese sinken seit Einführung der Milchquote 1984, was sich auf die Bestände an Kälbern, Färsen und Mastbullen überträgt. Die Bestände in Ostdeutschland wurden in den ersten fünf Jahren nach der Wiedervereinigung erst rapide, dann langsamer abgebaut. Heute ist der Gesamtbestand sogar geringer als in der BRD vor 1990.

Abbildung 23: Entwicklung der Rinderbestände in Deutschland nach 1980



(Datengrundlage: BMVEL verschiedene Jahrgänge)

Mit den rückläufigen Milchviehbeständen werden auch die Bestände an Mastrindern weiter schrumpfen und die Rindfleischherzeugung sinken. Einen leichten Gegentrend bewirkte in der Vergangenheit die wachsende Mutterkuhhaltung, die sich mit der verstärkten Förderung durch die EU in den neunziger Jahren auf über 700.000 Tiere in Deutschland ausgeweitet hat. Die Anzahl der Mutterkühe war in den letzten Jahren allerdings rückläufig, da sie stark von der Förderhöhe durch die GAP abhängig ist.

Für die Rindfleischherzeugung wurden zwei intensive und zwei extensive Produktionsprozesse definiert (vgl. Tabelle 10). Deren Futterpläne repräsentieren dabei eine unterschiedliche Mastdauer, und die Art der nachgefragten Fläche in Form von Ackerland bzw. Grünland.

Die Entkopplung der Direktzahlungen wird sich stark auf den Rindfleischsektor auswirken. Verschiedene Modellberechnungen ergaben einen Rückgang der Produktion um 14 - 15 % nach Umsetzung der Luxemburger Beschlüsse (Kreins et al. 2002; Sundrum 2005). Wenn gleich die verschiedenen Entkopplungsoptionen sich auf Teilbereiche wie Kälberpreise oder Produktion in Grünlandregionen unterschiedlich auswirken werden, wird die Rindfleischherzeugung in Deutschland insgesamt zurückgehen (Isermeyer 2003b; Offermann et al. 2003).

Besonders großen Einfluss wird die Entkopplung auf die Mutterkuhhaltung haben, die bisher stark von den Tierprämien abhängt (Heißenhuber et al. 2005b).

Tabelle 10: Produktionsprozesse in der Rindermast für Deutschland

Bezeichnung	Bullenmast Maissilage	Bullenmast Grassilage	Ökologische Ochsenmast aus Milchkuh	Extensive Rindermast aus Mutterkuh
Futterbasis 2000 (in TS)	Maissilage 72 % Weizen 13 % Soja 11 %	Grassilage 42 % Maissilage 30 % Getreide 19 %	Grünland* 75 % Getreide 18 % Körnerleguminosen 6 %	Grünland* 85 % Getreide 6 % Vollmilch 3 %
Mistsystem	Flüssigmist	Flüssigmist	Festmist + Weidegang	Festmist + Weidegang

*Grünland: Grassilage, Weidegras und Heu zusammengefasst

(Quelle: Öko-Institut 2005 und eigene Annahmen)

Auch in der Fleischproduktion wird der zukünftige Züchtungsfortschritt zu steigenden Leistungen führen. Dem steht allerdings eine mögliche Extensivierung der Rindermast gegenüber, die sich aus der Umwandlung der Tierprämien in Flächenprämien ergeben kann (Isermeyer 2003b; Öko-Institut 2003). In HEKTOR können daher verschiedene Leistungs- und Intensitätsstufen in der Dateneingabe über die Anteile an unterschiedlich intensiven Mastverfahren gewählt und damit die Entwicklung abgebildet werden.

Grünland

Von 17 Mio. ha landwirtschaftlich genutzter Fläche in Deutschland entfallen derzeit 5 Mio. ha auf Wiesen und Viehweiden. Dies dient vorwiegend als Futtergrundlage für Rinder, die mit 10,5 Mio. Großvieheinheiten (GV) den Hauptanteil an der Grünlandnutzung tragen, während der Grünlandbedarf von Pferden und Schafen mit zusammen rund 600.000 GV eine geringere Rolle spielt (BMVEL 2003). Für Pferde und Schafe wurde ein bis 2030 konstanter Flächenverbrauch zugrunde gelegt. Der Grünlandbedarf in der übrigen Tierhaltung ist marginal und wurde ganz vernachlässigt.

Der Dauergrünlandbedarf in der Rinderhaltung ist in den letzten Jahren stetig gesunken, was zum einen auf den sinkenden Rinderbestand und zum anderen auf die vermehrte Nutzung von Ackerkulturen in der Fütterung zurückgeht. Die stetige Milchleistungssteigerung erfordert eine veränderte Futtergrundlage mit verstärktem Einsatz von energie- und eiweißreichen Futtermitteln (Flachowsky et al. 2002), daher verlagert sich die Futterproduktion immer mehr von Grünland hin zum Ackerland.

Dieser Trend wird sich auch in Zukunft fortsetzen, verstärkt durch die Reformen im Milchmarkt (Flachowsky et al. 2002; Heißenhuber et al. 2005b). Strukturwandel und Leistungssteigerung setzen zukünftig im Bereich der Rinderhaltung Flächen frei, die nicht weiter zur Nahrungsmittelproduktion genutzt werden (Heissenhuber 2002).

Zunächst werden ertragsschwache Standorte von der Nutzungsaufgabe bedroht sein, während intensives Grünland weiterhin in der Milchviehfütterung genutzt wird. Ob dabei Grünland aus der Nutzung fällt oder sich eine Futtermittelverwertung als extensives Grünland lohnt, hängt stark von den Preisen auch für alternative Nutzungen, z. B. als Koferment ab. Im Modell kann die veränderte Nachfrage nach Grünland über die Anteile der verschiedenen Haltungsverfahren

abgebildet werden, die in ihren Futterplänen Schwerpunkte entweder auf Gras bzw. Grünland oder Mais bzw. Acker setzen.

Für eine Erhaltung insbesondere des extensiven Dauergrünlands spricht sein hoher ökologischer Wert. Auf Wiesen mit mittleren Standortbedingungen sind besonders viele Arten zu finden und extreme Standorte bieten Lebensraum für viele seltene Spezies. Im Hinblick auf Boden- und Gewässerschutz bietet Grünland außerdem Vorteile gegenüber Acker, etwa durch eine geringere Nitratauswaschung (Thomet et al. 1989; Briemle 1990; Meyer-Aurich 1999).

Sowohl die Umweltverbände als auch die Agrarpolitik postulieren seit langem den Grünland-erhalt als politisches Ziel (NABU 1999; Agra-Europe 2003a). Aufgrund seines Naturschutz- und Umweltwerts wird das Grünland daher zukünftig in seinem Umfang geschützt. Dazu sind im Rahmen der Cross-Compliance-Verpflichtungen ab 2005 europaweit Regelungen vorgesehen, die in Deutschland bereits umgesetzt werden (Rat der EU 2003; BMVEL 2005a). Dauergrünland genießt daher in HEKTOR Bestandsschutz und darf entsprechend nicht zu Ackerland umgebrochen werden. Soll es auf Grünlandflächen zu Wiederaufforstung oder zur Anlage von Kurzumtriebsplantagen kommen, so werden diese Flächen mit einer entsprechenden Umwandlung von Ackerland zu Grünland gegen gerechnet.

5.2.2.3 Schweine- und Geflügelhaltung

Im Vergleich zur Rinderhaltung beansprucht die Schweinehaltung in Deutschland wesentlich weniger Fläche. Der Flächenverbrauch für die Geflügelhaltung ist sogar marginal. Die Entwicklungen dieser Bereiche wirken sich daher nur gering auf die zukünftig für die Biomasse verfügbaren Flächen aus. Zudem sind die Märkte für Schweinefleisch und Geflügelprodukte kaum reguliert und durch die aktuellen Reformbeschlüsse weniger beeinflusst. Für HEKTOR werden daher vorwiegend langfristige Trends in der Schweine- und Geflügelproduktion fortgeschrieben.

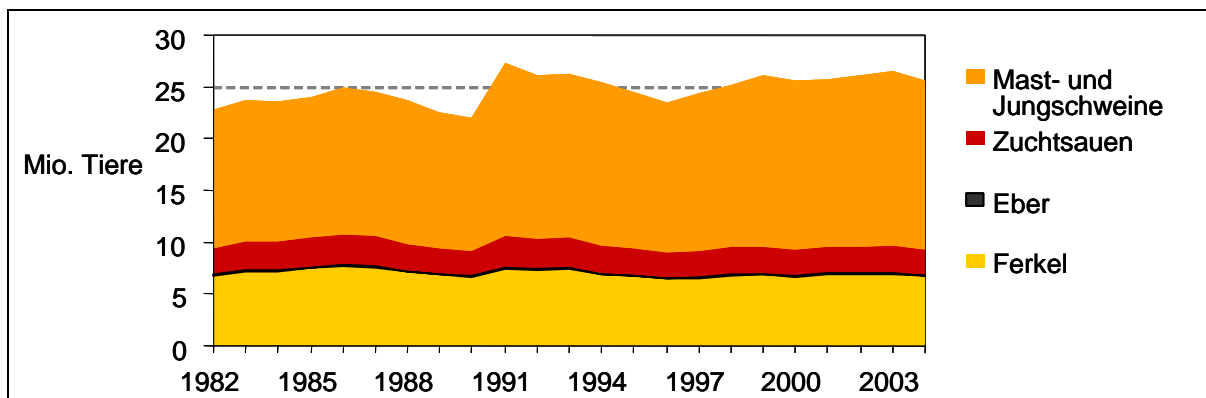
Mastschweine

Der Schweinebestand war in der Vergangenheit langfristig stabil (Abbildung 24). In der Zuchtsauenhaltung war ein leichter Abwärtstrend zu beobachten, während die Mastschweinebestände nur kurzfristig großen Schwankungen unterliegen. Allgemein wird die Schweinehaltung in Deutschland von einer voranschreitenden Konzentration in der Produktion und Vermarktung von Schweinefleisch geprägt. (Windhorst 1999). In Zukunft könnte eine zunehmende Bedeutung von Qualität und Verbrauchersicherheit die regionale und ökologische Produktion stärken (Knickel 2002). Die Entwicklung ökologischer der Schweine- und Hühnerhaltung ist jedoch schwer vorhersagbar und wird als verhalten eingeschätzt. Derzeit bestehen für ökologisch produziertes Schweinefleisch aufgrund der hohen Produktionskosten kaum Marktchancen (Agra-Europe 2003b). Hemmnisse liegen in der schlechten Futtermittelverwertung, der Problematik der heimischen Eiweißversorgung und dem hohen Flächenbedarf für die Freilandhaltung (Öko-Institut 2003).

Auch die EU-Osterweiterung wird sich künftig auf die Schweineproduktion auswirken. Zwar sind kurzfristig die befürchteten Verwerfungen an den Schweinefleischmärkten ausgeblieben, langfristig könnte aber die Importnachfrage in den neuen Mitgliedsstaaten steigen. Dem wird mit größeren Betrieben und intensiveren Mastverfahren begegnet, wobei dies aufgrund von

Umweltrestriktionen kaum in den Konzentrationsgebieten stattfinden kann (Döhler et al. 2002). Damit bleibt wenig Spielraum für eine langfristige Ausdehnung der Bestände.

Abbildung 24: Entwicklung der Schweinebestände in Deutschland nach 1980*



*vor 1990 nur damalige BRD

(Datengrundlage: BMVEL verschiedene Jahrgänge)

Für die Schweineproduktion wurden drei Produktionsprozesse definiert (vgl. Tabelle 11). Diese unterscheiden sich in der Mastdauer und in den eingesetzten Futtermitteln. Die Lebensfutterpläne basieren wie in der Rinderhaltung auf Daten aus GEMIS, die für HEKTOR leicht angepasst wurden.

Tabelle 11: Produktionsprozesse in der Schweinemast für Deutschland

Bezeichnung	Intensivmast	konventionelle Mast	ökologische Mast
Futterbasis 2000 (in TS)	Getreide 80% Soja 14 %	Getreide 85 % Soja- und Raps- extraktionsschrot 5 %	Sonstiges Getreide 52 % Roggen 19 % Körnerleguminosen 18 %
Mistsystem	Flüssigmist	Flüssigmist 65 % Festmist 35 %	Festmist

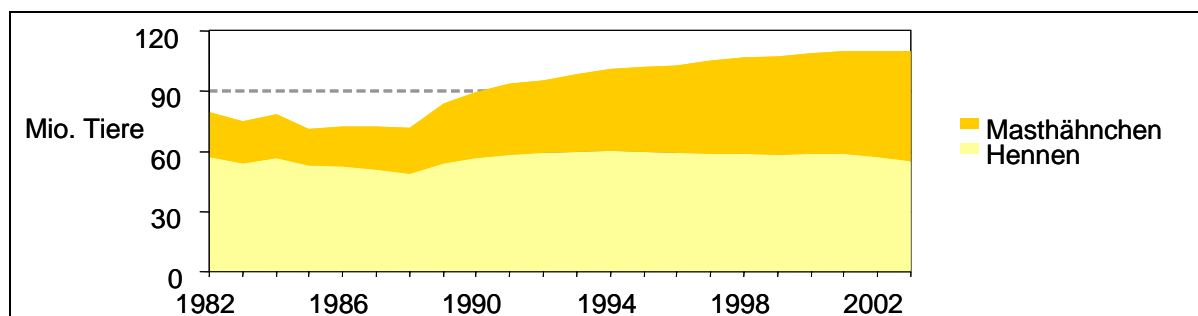
(Quelle: Öko-Institut 2005 und eigene Annahmen)

Mit den eingesetzten Futtermitteln werden jeweils 92 kg/Tier Schlachtgewicht erzeugt. Im intensiven konventionellen System dient importiertes Soja als Hauptproteinquelle, das nur Flächen außerhalb Deutschlands belegt. Die ökologische Schweinehaltung nutzt ausschließlich inländische Eiweißfuttermittel. Für die intensive Schweinemast wurden Flüssigmistsysteme angenommen; bei der konventionellen Mast erfolgt eine Aufteilung auf Flüssig- und Festmist. Die Anteile beider Systeme wurden aus dem BMVEL/UBA-Ammoniak-Emissionsinventar abgeleitet (Döhler et al. 2002).

Geflügel

Die Geflügelhaltung übt einen sehr geringen Einfluss auf den Flächenbedarf in Deutschland aus. Bei Geflügelfleisch ist bisher der Pro-Kopf-Verbrauch in beständig angestiegen. Gleichzeitig ist der Selbstversorgungsgrad in Deutschland gewachsen. Dieser überproportionale Anstieg der Produktion lässt sich an der erheblichen Ausdehnung der Masthähnchenbestände ablesen (vgl. Abbildung 25). Im Gegensatz zur übrigen Fleischerzeugung war bei Geflügel nach der Wiedervereinigung kein Bestandsabbau zu beobachten.

Abbildung 25: Entwicklung der Geflügelbestände in Deutschland nach 1980*



*vor 1990 nur damalige BRD

(Datengrundlage: BMVEL verschiedene Jahrgänge)

Auch für die Legehennen- und Mastgeflügelhaltung wurden die langfristigen Trends mittels linearer Regression zur Bestimmung der zukünftigen Entwicklung herangezogen. Der Verbrauch von Eiern ist in Deutschland seit längerer Zeit leicht rückläufig. Bei relativ konstanter Eierproduktion stieg die Selbstversorgung bei Eiern geringfügig.

Zur Legehennenhaltung liegen keine GEMIS-Prozesse vor. Für HEKTOR wurden daher zwei Produktionsprozesse neu definiert, wobei Käfig- und Bodenhaltung zusammengefasst wurden, da sie sich in der Flächenleistung nur wenig unterscheiden (Tabelle 12). Ebenso bilden ökologische- und Auslaufhaltung einen gemeinsamen Prozess, bei geringer Legeleistung und einem höheren Anteil an heimischem Eiweiß, also höherem Flächenanspruch als die Käfighaltung.

Tabelle 12: Produktionsprozesse in der Legehennenhaltung für Deutschland

Bezeichnung	Käfig-/Bodenhaltung	ökologische/Auslaufhaltung
Futterbasis 2000	Mais 32 % Soja 25 % Weizen 22 %	Mais 32 % Weizen 22 % Soja 17 % Erbsen 14 %
Legeleistung [Stk./Legeperiode]	289	196
Mistsystem	Flüssigmist/Festmist	Festmist mit Auslauf

(Quelle: KTBL 2000; Hosberg 2004; Kirchgeßner 2004 und eigene Annahmen)

Für Mastgeflügel liegen GEMIS-Prozesse vor, die in HEKTOR eingehen (Tabelle 13). Dabei wurde auf die Definition eines ökologischen Produktionsprozesses verzichtet, da das konventionelle System ähnliche Flächen beansprucht. Neben Hähnchenmast wird außerdem die Putenmast berücksichtigt.

Tabelle 13: Produktionsprozesse in der Geflügelmast für Deutschland

Bezeichnung	Hähnchen Bodenhaltung	Hähnchen Auslaufhaltung	Putenmast
Futterbasis 2000	Weizen 32 % Soja 29 % Mais 27 %	Weizen 64 % Soja 16 % Reste aus der Lebensmittelindustrie 10 %	Weizen 42 % Soja 25 % Mais 21 %
Mistsystem	Festmist	Festmist	Festmist

(Quelle: Öko-Institut 2005 und eigene Annahmen)

Auch die Geflügelhaltung ist von einer starken Konzentration in einigen Gebieten Deutschlands geprägt. Mittlerweile erschweren Umweltauflagen den Neubau von Produktionsanlagen in diesen Gebieten sowohl für die Mast als auch die Eierproduktion (Windhorst 2001). Hinzu kommen Tierschutzanforderungen, die in Zukunft für deutsche Legehennenhaltung über die Anforderungen der EU hinausgehen werden (BMVEL 2002c). Die Abschaffung der Käfighaltung ab 2012 wird zu einer Einschränkung der Eierproduktion in Deutschland führen. Die könnten Bestände dann auf 21,1 bis 22,6 Mio. Tiere sinken, wodurch die Selbstversorgung in Deutschland auf 35-40 % zurückginge (Böckmann et al. 2001).

Da dies einen deutschen Sonderfall darstellt, wird die Verteilung auf die verschiedenen Haltungssysteme in der Dateneingabe variiert. Für die Zukunft nach 2010 wird davon ausgegangen, dass sich Selbstversorgungsrate und Bestände auf niedrigerem Niveau wieder einpendeln (SV 40 %). Der Trend der Legehennenhaltung wird nach einem starken Einbruch um 2010 wieder wie zuvor weitergeführt. Dies führt zu einem Rückgang der Eierproduktion bis 2030. Für Deutschland wird die Käfighaltung nach 2012 durch Bodenhaltung ersetzt, während sich die Bestände nicht ganz halbieren.

Anders als bei Legehennen bestehen bei Masthähnchen freiwillige Haltungsauflagen, die gesetzliche Auflagen vermeiden sollen (Böckmann et al. 2001). Da der Bedarf an Geflügelfleisch zur Substitution anderer Fleischsorten weiter steigen wird, geht das Modell von einer Ausweitung der Geflügelmast bis 2030 aus. Die Umweltauflagen behindern aber wie bei Legehennen den Neubau von Produktionsanlagen, die Produktion wird nur leicht ausgedehnt (Windhorst 2001; Döhler et al. 2002). Langfristig ist ein Trend zur Abwanderung der Legehennenhaltung und Geflügelmast aus Deutschland nach Osteuropa wahrscheinlich. Importe aus der EU werden dabei weiterhin hohe Bedeutung behalten (Öko-Institut 2003).

Mit dem Geflügelsektor schließt den landwirtschaftlichen Rahmen für die Szenarien in HEKTOR. Aus den dargestellten Vorgaben werden die landwirtschaftlichen Flächensalden ermittelt, die zukünftig aus der Nahrungsmittelproduktion ausscheiden. Welchen Umfang diese Flächen einnehmen hängt darüber hinaus entscheidend von der Ausprägung der Szenarioparameter ab (vgl. Kapitel 6.1).

5.2.2.4 Validierung der Flächen und Tierbestände

In HEKTOR geschieht die Ermittlung der Nahrungsmittelflächen über verschiedene Zwischenschritte. Ziel ist, die tatsächlich benötigten Flächen möglichst real abzubilden. Daher wurde eine *Validierung* durchgeführt, welche die Modellergebnisse mit der statistischen Flächennutzung vergleicht. Um festzustellen, wie genau das Modell arbeitet, wurden die Ergebnisse aus HEKTOR für das Jahr 2000 mit den jeweiligen Daten aus der amtlichen Landwirtschaftsstatistik (z. T. korrigiert um Umtriebe bzw. Lebenszeit) für das Jahr 2000 (BMVEL 2003) verglichen.

Zielwert ist eine Abweichung von unter 10 % zwischen amtlicher Statistik und den Ergebnissen aus HEKTOR gesetzt, da auch die Annahmen kaum exakt zu treffen sind. Angesichts der Vielzahl der Modellannahmen besteht die Gefahr, dass eine strengere Vorgabe in gewissem Maße über scheinbare Zusammenhänge und Komplexität erreicht würde, die keinen wirklichen Gewinn an Genauigkeit beitragen. Grundlegende Tendenzen im Ergebnis werden aber durch eine 10%ige Abweichung nicht beeinflusst.

In den folgenden Tabellen werden die Ergebnisvergleiche für Flächen und Tierbestände für Deutschland vorgestellt. HEKTOR weist für das Jahr 2000 einen um 220.000 ha höheren Bedarf an Grünland aus, als laut Statistik genutzt wurde. Der Bedarf an Ackerflächen wird um etwa 20.000 ha geringfügig überschätzt (Tabelle 14). Betrachtet man die aggregierten Acker- und Grünlandflächen, so erreicht HEKTOR eine Abweichung von weniger als 2 % gegenüber den Flächen aus der Statistik. Dies zeigt, dass das Modell ab einer gewissen Aggregationsstufe den Flächenbedarf für die Nahrungsmittelproduktion ausreichend gut abschätzt.

Auf Ebene der Einzelkultur steigt der Fehler jedoch an, da die definierten Prozesse eine Vielzahl von Produktionssystemen aggregieren. Auch sind verschiedene Futtermittel gegeneinander austauschbar, daher wurden die Kulturen bereits in den Futterplänen zusammengefasst. Die wenigen Ausnahmen an Einzelkulturen dürfen nur im Gesamtkontext der Flächenbilanzen betrachtet werden. So werden Mais-, Kartoffel- und Rübenflächen um knapp 9 % überschätzt. Die Gesamtbilanz relativiert diesen Fehler, da die aggregierte Getreidefläche, die einen wichtigen Flächenanteil belegt, sehr genau abgebildet wird.

Tabelle 14: Vergleich der landwirtschaftlichen Flächennutzung nach HEKTOR und der amtlichen Statistik für Deutschland (2000)

Bezeichnung	Einheit	Grünland	Getreide	Mais	Kartoffeln & Rüben	Klee gras	Hülsenfrüchte
Fläche HEKTOR	Mio. ha	5,23	5,98	1,34	0,64	0,21	0,20
Fläche Statistik	Mio. ha	5,01	5,88	1,46	0,59	0,21	0,22
Differenz	%	-4,4	-1,8	+8,4	-8,8	-0,7	+7,9
Insgesamt	%	-1,8					

(Quelle: BMVEL 2001 und eigene Berechnungen)

Ergänzend zur Validierung der Flächennutzung in Deutschland wurden die Importe an Futtermitteln betrachtet, die im Ausland Flächen binden. Der Vergleich zwischen Statistik und Modelldaten konzentriert sich dabei auf Sojaprodukte, die den größten Anteil der Futtermittelimporte in Deutschland einnehmen (BMVEL 2004). Da Sojaextraktionsschrot als Nebenprodukt der Sojaölproduktion entsteht, ist die Zurechnung zu realen Flächen schwierig. Die errechneten Flächen verstehen sich daher als *virtuelle* Flächenbindung, für die Produktion von Sojaschrot unter Vernachlässigung der Ölproduktion. Ausgehend von einem Ölgehalt von 20 % (Bachthaler 1992) und einem Sojabohnenertrag von 2,5 t/ha (FAOSTAT 2005) ergibt sich ein Schrotertrag von 2 t/ha. Die so ermittelten *importierten Sojaflächen* weichen von den *verfütterten Sojaflächen*, die aus der Statistik abgeleitet sind nur um 2 % ab.

Eine weitere Validierungsgröße stellen die in HEKTOR ermittelten Tierzahlen zur Nahrungsmittelproduktion dar, die mit Tierbeständen in der amtlichen Statistik verglichen werden (Tabelle 15). Für die Tierbestände wurde der Zielkorridor von 10 % bis auf die Legehennen erreicht. Bei letzteren ist die Abweichung mit 20% erheblich und wurde daher auf ihre Flächenwirksamkeit überprüft.

Die Sensitivitätsanalyse ergibt aber nur einen marginalen Einfluss der Eierzeugung auf die Flächennutzung in HEKTOR. Bei einer Veränderung der Selbstversorgung um 10 % verändert sich das Flächenpotenzial in Deutschland um weniger als 0,5 % (vgl. Sensitivitätsanalyse Kapitel 6.2.1.4). Daher wird die Abweichung im Legehennenbestand als unbedeutend vernachlässigt.

Tabelle 15: Vergleich der Anzahl an Nutztieren nach HEKTOR und der amtlichen Statistik für Deutschland (2000)

Bezeichnung	HEKTOR	Statistik	Differenz
	Mio. Stk.	Mio. Stk.	%
Fleischrinder	3,0	2,9	-4
Milchkühe	4,7	4,8	+1
Mutterkühe	0,7	0,7	-3
Schwein	42	40	-5
Masthühner	468	493	+6
Mastputen	24	23	-3
Legehennen	51	41	-20

(Quelle: BMVEL 2001 und eigene Berechnungen)

Für Deutschland spiegelt das Modell die bestehende Flächennutzung durch die Nahrungsmittelproduktion hinreichend genau wieder. Die vorgestellten Prozesse können daher als Repräsentanten der pflanzlichen und tierischen Produktion genutzt und in den Szenarien fortgeschrieben werden.

Für eine umfassende Betrachtung fehlen nun noch die außerlandwirtschaftlichen Einflüsse auf die Flächenpotenziale in Deutschland. Dies sind die Entwicklungen bei den Siedlungs- und Verkehrsflächen sowie bei den Naturschutzflächen, die im Weiteren vorgestellt werden.

5.2.3 Außerlandwirtschaftliche Flächennutzung

5.2.3.1 Flächenverbrauch für Siedlung und Verkehr

Ein wichtiger Bestimmungsfaktor für die außerlandwirtschaftlich genutzten Flächen ist der *Flächenverbrauch* für Siedlungs- und Verkehr. In der Vergangenheit wurden dieser in Deutschland nicht nur immer weiter ausgedehnt, auch die Zuwachsrates stieg bis vor wenigen Jahren kontinuierlich an. Ende der 90-er Jahre wurden täglich etwa 130 ha versiegelt, erst nach 2000 sank der Verbrauch wieder auf 105 Hektar pro Tag (ha/d). Dies war hauptsächlich auf die Konjunkturschwäche zurückzuführen, die sich negativ auf die Bautätigkeit in Deutschland auswirkte. Verbessert sich die Wirtschaftslage, dann könnte sich der Trend wieder umkehren (UBA 2003; 2004). Langfristig ist jedoch aufgrund der sinkenden Bevölkerung in Deutschland mit einem Abflachen des zusätzlichen Flächenverbrauchs zu rechnen (Fritsche et al. 2004a). Die Höhe des Rückgangs wird daher in den Szenarien variiert und die jeweiligen Auswirkungen innerhalb der Szenarioergebnisse betrachtet.

Der Flächenverbrauch geht in Deutschland vollständig zu Lasten der landwirtschaftlich genutzten Fläche, da nach Bundeswaldgesetz Waldflächenverluste zu 100 % einer *Kompensationspflicht* unterliegen (BWaldG 1975). Offen ist, in welchem Verhältnis Acker und Grünland künftig verloren gehen. Für das Modell wurde der Flächenverbrauch entsprechend der derzeitigen Verteilung auf Ackerland zu 70 % und Grünland zu 30 % angerechnet.

Die Versiegelung von Flächen zieht weitere Flächenverluste an landwirtschaftlich genutzter Fläche nach sich. In Deutschland müssen nach dem Bundesnaturschutzgesetz zusätzlich Ausgleichsräume geschaffen werden, die ebenfalls Landwirtschaftsflächen abgreifen (BNatSchGNeuregG 2002). Die Berechnungsgrundlage für die Ausgleichsflächen zeigt Tabelle 16. Im Mittel sind 2/3 der Siedlungs- und Verkehrsflächen ausgleichspflichtig. 1/3 kann bereits über den Bebauungsplan innerhalb der Siedlungs- und Verkehrsflächen gestellt

werden, z.B. durch Gärten und Grünanlagen. Entsprechend ihres unterschiedlichen ökologischen Werts müssen Ackerland und Grünland unterschiedlich stark kompensiert werden, so dass auf den Flächenverbrauch bei ehemaligen Ackerflächen noch einmal 22 % der Flächen und bei ehemaligem Grünland sogar 44 % aufgeschlagen werden (Köppel et al. 2004).

Tabelle 16: Berechnungsgrundlage für die Ausgleichspflicht bei Flächenverbrauch für Siedlung und Verkehr in Deutschland

Bezeichnung	ausgleichspflichtig	Ausgleich im Bebauungsplan	Ausgleichsschlüssel	tatsächlicher Ausgleich
Grünland	66%	66%	1:1	44%
Ackerland	66%	66%	1:0,5	22%

(Quelle: Köppel et al. 2004)

Die Ausgleichsflächen können nicht zu den Naturschutzflächen gerechnet werden, da sie nur den Verlust naturnaher Flächen kompensieren. Sie dienen allein der Funktionserhaltung der Gesamtfläche auf dem bisherigen Niveau.

5.2.3.2 Flächenansprüche des Naturschutzes

Neben Flächennutzungen mit wirtschaftlichem Hintergrund werden in Deutschland Flächen für den Naturschutz bereitgestellt. Der gesellschaftliche Auftrag, die natürlichen Lebensgrundlagen – abiotische und biotische Ressourcen – zu schützen, schränkt die Nutzung der ausgewiesenen Flächen ein. In der Landwirtschaft besteht aufgrund der unterschiedlichen Standortqualitäten die Tendenz zur Segregation von Naturschutz und Bewirtschaftung. Um eine Unterteilung der Landschaft in „Schutz- und Schmutzgebiete“ zu verhindern, beziehen sich viele Naturschutzziele auf die flächendeckende Biotopvernetzung, wie sie u. a. auch im Bundesnaturschutzgesetz (BNatSchGNeuregG 2002) und im Natura2000-Programm der EU festgeschrieben sind (EU-Kommission 1998). Die hierfür zusätzlich erforderlichen Naturschutzflächen müssen als Abschlag vom Flächenpotenzial berücksichtigt werden.

Köppel et al. (2004) untersuchten, inwiefern unerfüllte Naturschutzziele aus der heutigen Agrarfläche gedeckt werden müssen. Zunächst werden verschiedene Naturschutzforderungen und Naturschutzmaßnahmen hinsichtlich ihrer Zielerreichung verglichen. Als Synopse werden schließlich Flächenforderungen formuliert, die vom Energiepflanzenanbau ausgeschlossen werden müssen.

In Anlehnung daran wurde für Deutschland und Bayern eines der getesteten Verfahren zur Grobabschätzung dieser Ausschlussflächen gewählt. Ausgangspunkt ist das deutsche Naturschutzgesetz, nachdem mindestens 10 % der Landfläche für Naturschutzzwecke zur Verfügung gestellt werden sollen. Bestehende Naturschutzflächen in verschiedenen Kategorien werden diesem Ziel angerechnet, wobei je nach Schutzgebietskategorie nur ein Teil als Ausschlussfläche zählt, etwa bei Nationalparks 100 % und bei Naturschutzgebieten 50 %.

Die gegenüber dem Ziel verbleibende Differenz muss von zukünftig verfügbaren Flächen abgedeckt werden. Dieser Anspruch wird auf die Waldfläche und die landwirtschaftlich genutzte Fläche entsprechend dem derzeitigen Verhältnis als noch zu schaffende Naturschutzfläche aufgeteilt. Im Bereich der Landwirtschaft werden die Flächen zu Lasten der zukünftig verfügbaren Flächen gerechnet. Nach Köppel et al. (2004) muss ein Teil der Ackerflächen in Grünland umgewandelt werden, gleichzeitig wird Grünland zur Naturschutzfläche. Zur Ver-

einfachung werden daher die zusätzlichen Naturschutzflächen allein von den verfügbaren Ackerflächen geschaffen, die durch die Umwandlung in ökologische Dauerbrache und Strukturelemente vollständig aus der Nutzung fallen.

Der Naturschutz beeinflusst neben dem Flächenpotenzial auch die Produktion der Biomasse. Generell muss für den Biomasseanbau ein Verschlechterungsverbot gegenüber dem übrigen Anbau gelten, um den Kriterien der Nachhaltigkeit zu genügen. Als Prämisse wird der Erhalt des bestehenden Grünlands gesetzt. Dies wird vom Naturschutz seit langem gefordert und ist nun in der aktuellen GAP-Reform verankert (Rat der EU 1992).

In den Szenarien können noch weitere Nutzungsaufgaben für die Landwirtschaft angenommen werden, um die Nachhaltigkeit der Bioenergiebereitstellung abzusichern. Dadurch kann eine Verbesserung des Naturschutzes erzielt werden, während die betroffenen Flächen auch zukünftig zur Biomasseerzeugung genutzt werden können. Allerdings sind der Ertrag und die Wahl der angebauten Biomasse eingeschränkt, was sich auf die Potenziale auswirken kann. Dem wird in der Potenzialberechnung innerhalb des Modells Rechnung getragen.

Auf vielen Naturschutzflächen entsteht Biomasse. Deren Abfuhr ist aus Naturschutzsicht häufig erwünscht. Dieser Aufwuchs kann energetisch genutzt werden. Ob daraus Synergien zwischen Naturschutz und Biomassenutzung entstehen, wird noch kontrovers diskutiert (Köppel et al. 2004; Nitsch et al. 2004). Eine umfassende Betrachtung der Bioenergiepotenziale von Naturschutzflächen ist nicht Ziel dieser Arbeit. An dieser Stelle werden die Konkurrenzbeziehungen zwischen Naturschutz und Bioenergie im Sinne der Nachhaltigkeit zwar berücksichtigt, Vorrangflächen für den Naturschutz (vor einer landwirtschaftlichen Nutzung) stehen aber nicht für den Energiepflanzenanbau zur Verfügung. Stattdessen werden diese Flächen als Ausschlussflächen betrachtet. Mögliche Synergien durch Biomasseabfuhr von Naturschutzflächen müssen zunächst einer naturschutzfachlichen Bewertung unterzogen werden, die an dieser Stelle nicht geleistet werden kann.

Die Abschätzung von Flächen für Bautätigkeit und Naturschutz vervollständigt die Betrachtung der Flächennutzung aus der landwirtschaftliche Biomassepotenziale mit HEKTOR ermittelt werden. Für die Vergleichsbetrachtung wurde das Modell nun auf andere Länder und Regionen übertragen.

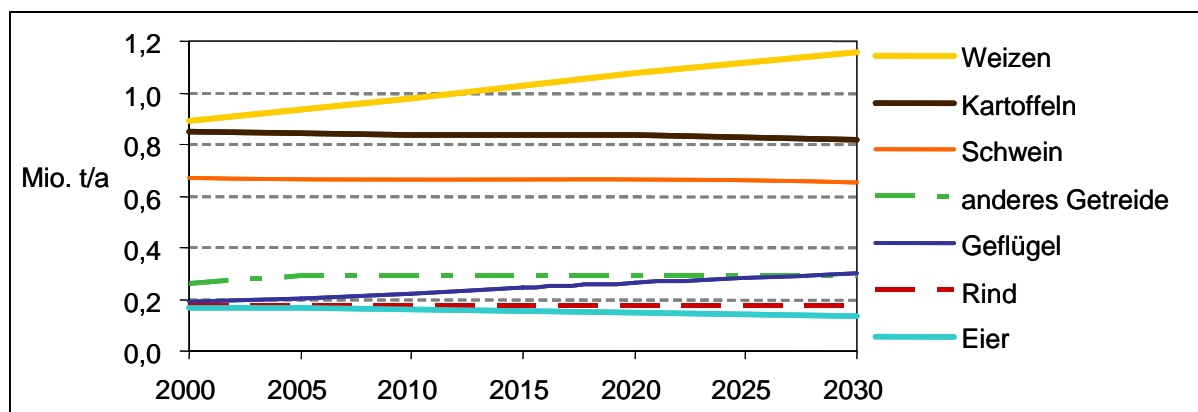
5.3 Modellannahmen für die Flächennutzung in Bayern

Für Bayern konnte eine Vielzahl von Annahmen aus HEKTOR für Deutschland übernommen werden. Die folgenden Kapitel beschreiben daher nur die relevanten Unterschiede. Als Datenbasis dient vorwiegend die bayerische Agrarstatistik (StMLF verschiedene Jahrgänge).

5.3.1 Nahrungsmittelbedarf

Der Nahrungsmittelverbrauch der Bevölkerung ist wiederum die Basis der Flächennutzung. Im Gegensatz zu Gesamtdeutschland wird für Bayern mit einer steigenden Bevölkerungszahl gerechnet (vgl. Anhangstabelle 1). Diese ist in Migrationsbewegungen innerhalb Deutschlands begründet. Insbesondere der Großraum München weist einen hohen Zuzug auf, der sich auch in Zukunft – wenn auch abgeschwächt – fortsetzen wird (Kröhnert et al. 2004). Der Gesamtnahrungsverbrauchs basiert auf deutschen Pro-Kopf-Verbräuchen und Trends sowie der bayerischen Bevölkerungsentwicklung (vgl. Abbildung 26).

Abbildung 26: Annahmen zum Nahrungsmittelverbrauch in Bayern bis 2030



(Datengrundlage: eigene Berechnungen)

Der Verbrauch bleibt weitgehend konstant oder wächst, da die Entwicklung des Pro-Kopf-Verbrauchs die der Bevölkerung überlagert. Besonders stark wird die Nachfrage bei Getreide und Geflügelfleisch steigen.

5.3.2 Annahmen zur Landwirtschaft

Die Weiterentwicklung der bayerischen Landwirtschaft folgt weitgehend den Annahmen für Deutschland. Die Umsetzung der aktuellen GAP-Reform und die EU-Osterweiterung werden in naher Zukunft die wichtigsten Einflussfaktoren sein (BMVEL 2005b). Bayern ist von den Beschlüssen zur Entkopplung stark betroffen, welche die Direktzahlungen in Betriebsprämien umwandeln (vgl. Kapitel 5.2.2).

Aufgrund der Nachbarschaft zu den neuen Mitgliedsstaaten der EU ist die Osterweiterung für Bayern von besonderer Bedeutung. Die betrifft vor allem die bayerischen Grenzregionen, wo räumliche Nähe auf eine weniger gut entwickelte Wirtschaftsstruktur trifft. Im Ernährungsgewerbe bestehen allerdings nur geringe Unterschiede in der Wettbewerbsfähigkeit gegenüber den neuen Mitgliedsstaaten (Alecke et al. 2001). In der Landwirtschaft begrenzt vor allem der Kapitalmangel in den neuen Mitgliedsstaaten die Konkurrenz für kapitalintensive Produktionszweige in Bayern (LBA 2000).

Nachdem die zehn mittel- und osteuropäischen Mitgliedsstaaten im Mai 2004 der EU beigetreten sind, blieben starke Verwerfungen auf den Nahrungsmittelmärkten aus, auch in den unmittelbar angrenzenden Ländern. Die Auswirkungen wurden vielmehr durch die schrittweise Öffnung der Märkte im Vorfeld der Erweiterung vorweggenommen. Sie werden auch zukünftig durch Übergangsregelungen entzerrt (DG AGRI 2004b). Die Osterweiterung prägte daher bereits in den letzten Jahren die Entwicklungen von Pflanzenbau und Tierhaltung. Für Bayern liegen dazu detaillierte Daten vor, die in HEKTOR verwendet wurden.

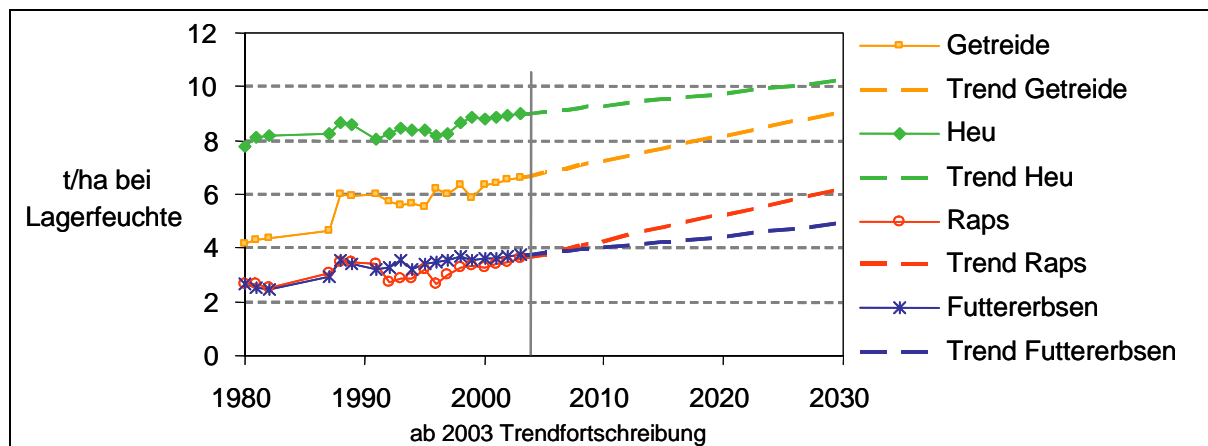
5.3.2.1 Pflanzenbau

Die Entwicklung im bayerischen Pflanzenbau verlief in Bayern in der Vergangenheit ähnlich wie in Deutschland (Abbildung 27). Das Ertragsniveau unterscheidet sich aber bei vielen Kulturen vom gesamtdeutschen Niveau.

Daher wurden eigene Produktionsprozesse für den Pflanzenbau definiert, welche die statistischen Ertragsdaten für Bayern mit Hilfe einer linearen Regression bis 2030 fort-

schreiben. Dabei wurden auch die Daten vor 1990 in die Berechnung einbezogen, da die deutsche Wiedervereinigung für Bayern weniger Auswirkungen zeigte

Abbildung 27: Ertragsentwicklung in Bayern seit 1980 und Trends bis 2030



(Datengrundlage: StMLF verschiedene Jahrgänge und eigene Berechnungen)

Der vergleichsweise starke Anstieg der Rapsenerträge für Deutschland wurde auch auf Bayern übertragen (vgl. Kapitel 5.2.2.1). Bei Getreide werden bis 2030 zumeist geringere Ertragsanstiege als in Deutschland erreicht, während bei Hackfrüchten und Silomais die Erträge höher liegen. Auch für Bayern wurde jedem konventionellen Produktionsprozess ein ökologischer beigelegt. Da keine bayerischen Daten zum Ertragsniveau des ökologischen Landbaus vorliegen, wurde die Ertragsdifferenz für Deutschland nach Offermann (2003) übernommen (vgl. auch Kapitel 5.2.2.1, Tabelle 8).

5.3.2.2 Rinderhaltung

Die tierische Erzeugung spielt für die bayerische Landwirtschaft eine erhebliche Rolle. Sie übertrifft den Produktionswert der pflanzlichen Erzeugung um etwa 20 %. In Deutschland liegen beide Produktionsbereiche etwa gleich auf. Die Produktionsprozesse in der Tierhaltung basieren auf den Prozessen für Deutschland, die für Bayern anhand der Agrarstatistik, des Ammoniakinventars und Daten des LKV Bayern angepasst wurden (Döhler et al. 2002; LKV Bayern 2003; StMLF verschiedene Jahrgänge).

Schwerpunkte der Produktion sind die Milch- und Rindfleischerzeugung. In Bayern werden 30 % des deutschen Milchviehbestandes und etwa 40 % der Mastbullen gehalten. Die Rinderhaltung nutzt damit in Bayern innerhalb der Tierhaltung den größten Flächenanteil und bestimmt die Nachfrage nach Grünland. In der Milchproduktion wirkt die Milchquote bis 2015 begrenzend. Die Quotenerhöhung um 1,5 % wird ebenso umgesetzt wie die Ausdehnung der Produktion nach 2015 um 5 %.

Die Leistung der bayerischen Milchkühe wird mittels linearer Regression aus den Daten ab 1991 bis 2030 fortgeschrieben. Bis 2030 steigt danach die Milchleistung auf 8300 l/Kuh*a in konventionellen Betrieben, bleibt aber hinter dem deutschen Niveau zurück. Dies begründet sich in der relativ kleinen Betriebsstruktur und im verbreiteten Einsatz von Zweinutzungsrindern (LBA 2001). Aufgrund der Mengenbegrenzung durch die Milchquote wird sich der Bestandsabbau zukünftig weiter fortsetzen. Der Leistungsunterschied zwischen

konventioneller und ökologischer Milchkuh für Deutschland nach Offermann (2003) von 15 % wurde übernommen.

In den Milchprozessen in HEKTOR wurde die Futterbasis leicht zugunsten eines höheren Anteils an Klee gras verändert. Außerdem steht in Bayern relativ viel Grünland zur Verfügung, das vorwiegend in der Milchviehhaltung genutzt wird. Daher wurde der Grünlandanteil in den Futterplänen etwas erhöht. Die Verteilung der Mistsysteme für AUGIAS und PROMETHEUS wurden nach Döhler et al. (2002) leicht zugunsten der Stallhaltung verschoben. Auch die Produktionsprozesse für Rindfleisch wurden bezüglich Mastdauer und Futtermengen an bayerische Verhältnisse angepasst.

Aus der Milchproduktion resultiert ein großer Teil der Rindfleischproduktion, die in Bayern eine überdurchschnittliche Bedeutung besitzt. Dies lässt sich an der hohen Selbstversorgung ablesen, die in den vergangenen 10 Jahren mit 220 - 260 % weit über dem Eigenverbrauch lag. Langfristig nahmen die Bestände jedoch ab.

Die Mastrinderbestände gingen in der Vergangenheit parallel zum Milchvieh stark zurück. Die Produktion wurde im Zuge der BSE-Krise zusätzlich eingeschränkt (LfL 2005). Dieser Trend wird sich in Bayern weiter fortsetzen, wenn mit der Entkopplung Tierprämien und spezielle Silomaisprämien wegfallen und damit die relative Vorzüglichkeit von Mutterkuhhaltung und intensiver Bullenmast abnimmt (Heißenhuber et al. 2005b). Aufgrund der großen Bedeutung der Rindermast für die bayerische Landwirtschaft wird sich die Entkopplung stark auf die Flächennutzung auswirken. Wird der Rückgang der deutschen Rindfleischproduktion anteilig auf Bayern übertragen, so setzt dies in Bayern insbesondere extensives Grünland frei (Kreins et al. 2001).

Einen teilweisen Ausgleich wird die Einführung der Flächenprämie für Grünland schaffen, deren Steuerungswirkung aufgrund der zunächst geringen Höhe aber begrenzt bleibt (Ganzert et al. 2004). In vielen Fällen wirft dies die Frage nach Nutzungsalternativen für das frei werdende Grünland auf, das mit der aktuellen Reform der GAP gleichzeitig Bestandsschutz genießt. Mit einer stärkeren Nutzung über Pferde- und Schafhaltung ist nicht zu rechnen, weswegen deren Flächenbedarf bis 2030 konstant durchgeführt wird.

5.3.2.3 Schweine- und Geflügelhaltung

Sowohl die Schweine- als auch die Geflügelhaltung bleiben in ihrer Bedeutung weit hinter der Rinderhaltung zurück, obwohl Bayern nach Niedersachsen und Nordrhein-Westfalen den drittgrößten Schweinebestand in Deutschland aufweist (StMLF 2004; LfL 2005). Lokal bestehen Schwerpunkte für Mast und Eierproduktion, insgesamt ist der Flächenbedarf jedoch vergleichsweise gering. Auch erhebliche strukturelle Veränderungen in diesen Produktionszweigen besitzen nur geringe Flächenwirkung. Daher wurde auf eine detaillierte Datenanpassung für Bayern verzichtet und Annahmen bzw. Trends weitgehend von Deutschland übernommen.

In Bayern sank der Schweinebestand seit längerem, bis er sich in den letzten Jahren konsolidierte. Wie in Deutschland war eine Konzentration in Schwerpunktgebieten, vor allem in Niederbayern zu beobachten. Die bestehenden Strukturnachteile in Bayern stellen die Schweinehalter unter besonders hohen Anpassungsdruck (LfL 2005). Trotz der relativ kleinen Bestände findet die Schweinemast räumlich sehr konzentriert statt. Daher werden im Zuge

weiterer Konzentrationsprozesse nur für wenige Betriebe Expansionschancen bestehen. Für Schweinefleisch wurden die Produktionsprozesse geringfügig angepasst. Bei konventioneller Mast wurden höhere Anteile von Körnermais in der Fütterung sowie ein höherer Anteil an Festmistsystemen von 40 % gewählt (Döhler et al. 2002; LKV Bayern 2003).

Die Geflügelhaltung tendiert ebenfalls zu einer verstärkten Konzentration in Schwerpunktbereichen und großen Betriebsstrukturen. Dabei verlor Bayern innerhalb Deutschlands langfristig an Bedeutung, da sich die Geflügel- und Legehennenhaltung stärker in Nord- und Ostdeutschland etablierte (LfL 2005). Der Masthähnchenbestand stieg nach einem Tief Mitte der 90-er Jahre immerhin wieder auf 4,1 Mio. Tiere in 2003 an.

Die Legehennenbestände wurden zwischen 1984 und 2003 stark von 7 Mio. auf 4 Mio. Tiere eingeschränkt, auch im Zusammenhang mit den verschärften Anforderungen für die Hennenhaltung. Da 2012 die Käfighaltung aufgegeben werden muss, stellen die Erzeuger bereits heute um oder geben die Produktion auf. Dies erkennt man am erheblichen Anstieg der Bodenhaltung auf 22 % nach 2003 (StMLF 2004).

Die Prozesse für Legehennen und Mastgeflügel wurden unverändert von HEKTOR für Deutschland übernommen (vgl. Tabelle 12 und Tabelle 13). In Bayern werden aufgrund der politischen und strukturellen Rahmenbedingungen keine sehr großen Chancen für die Ausdehnung der Geflügelproduktion gesehen. Die Eierproduktion wird in Bayern mit der Umsetzung der deutschen Haltungsverordnung für Legehennen weiter zurückgehen.

5.3.2.4 Validierung der Flächen und Tierbestände

Für Bayern erfolgte ebenfalls eine Validierung der Annahmen in HEKTOR durch einen Vergleich mit statistischen Daten des Jahres 2000 (Tabelle 17). Ziel war wiederum weniger als 10 % Abweichung zwischen HEKTOR und Statistik.

Tabelle 17: Vergleich der landwirtschaftlichen Flächennutzung nach HEKTOR und der amtlichen Statistik für Bayern (2000)

Bezeichnung	Einheit	Grünland	Getreide	Mais	Kartoffeln & Rüben	Klee gras	Hülsenfrüchte
Fläche HEKTOR	Mio. ha	1,08	1,04	0,37	0,10	0,08	0,02
Fläche Statistik	Mio. ha	1,15	0,99	0,38	0,09	0,10	0,02
Differenz	%	+5,6	-5,2	+1,2	-9,6	+23	-1,5
Insgesamt	%	+1,2					

(Quelle: Eigene Berechnungen und StMLF 2002)

HEKTOR weist für Bayern eine ähnlich gute Anpassung an die Statistik auf wie für Deutschland. Bei Grünland unterschätzt das Modell die benötigten Flächen gegenüber der Statistik um 65.000 ha, Ackerland wird um 30.000 ha überschätzt. Am stärksten weichen die disaggregierten Flächen ab. Bei Klee gras kann daher die Zielvorgabe nicht erreicht werden. Dies beeinflusst jedoch das Gesamtergebnis kaum, denn insgesamt bildet HEKTOR die für die Nahrungsmittelproduktion genutzten Flächen mit einer Abweichung von etwa 1 % ab. Auf einen separaten Abgleich der Sojaimportfläche wurde für Bayern verzichtet, da die Handelsströme innerhalb der Bundesländer kaum verfolgbar sind.

Als zweiter Validierungsbereich dienen die Tierbestände (Tabelle 18). Für Bayern genügt HEKTOR den vorgegebenen Abweichungskriterien bei allen Tierbeständen mit weniger als 10 % Abweichung zur Statistik.

Tabelle 18: Vergleich der Bestände in HEKTOR und der amtlichen Statistik für Bayern (2000)

Bezeichnung	HEKTOR	Statistik	Differenz
	Mio. Stk.	Mio. Stk.	%
Fleischrinder	0,80	0,81	+1
Milchkühe	1,44	1,45	+1
Mutterkühe	0,09	0,08	-2
Schwein	5,23	5,12	-2
Masthühner	39,0	38,9	0
Mastputen	2,00	2,01	+1
Legehennen	4,80	4,45	-7

(Quelle: Eigene Berechnungen und StMLF 2002)

5.3.3 Außerlandwirtschaftliche Flächennutzung

5.3.3.1 Flächenverbrauch

Auch der Abschlag vom Flächenpotenzial für die außerlandwirtschaftliche Flächennutzung wurde für Bayern modifiziert. Vom Flächenverbrauch für Siedlungs- und Bautätigkeit in Deutschland entfällt ca. 1/5 auf Bayern. Auch hier beobachtet man lange ein Anstieg, der Ende der 90-er Jahre einen Wert von 28,4 ha/d erreichte. Bis 2003 ging er relativ stark auf 17,2 ha/d zurück. Vermutlich ist dies noch keine anhaltende Trendwende, da ein ähnlicher Rückgang schon nach 1990 zu beobachten war (StUGV 2005). Zwar besteht in Bayern das politische Ziel, den Flächenverbrauch zu reduzieren (Agra-Europe 2005a). Dem steht aber die weiter steigende Bevölkerungszahl entgegen, die vermehrt Wohn- und Verkehrsraum nachfragen wird. Die Entwicklung wird daher in den Szenarien entsprechend betrachtet. Der Flächenverbrauch wird auf die landwirtschaftlich genutzten Flächen über das aktuelle Verhältnis von Ackerland zu Grünland verteilt. Die Ausgleichsflächen zur Funktionserhaltung der Gesamtfläche werden nach dem deutschen Schlüssel berechnet (vgl. Kapitel 5.2.3).

5.3.3.2 Flächenansprüche des Naturschutzes

Die Ziele aus dem Bundesnaturschutzgesetz und aus dem Natura 2000-Programm sind auch für Bayern verbindlich. Daher wird die Flächenforderungen wie für Deutschland nach Köppel et al. (2004) anteilig auf Bayerns Landwirtschafts- und Waldflächen übertragen. In Bayern sind aufgrund der naturräumlichen Gegebenheiten etwas andere Anforderungen zu bewältigen als in Deutschland – so bedingt das stärkere Relief in Alpenrandlage eine höhere Gefahr für Wassererosion. Eine detailliertere Betrachtung der Naturschutzaspekte würde den Rahmen dieser Arbeit jedoch sprengen.

5.4 Modellannahmen für die Flächennutzung in Polen

Ausgehend vom Modell für Deutschland wurde HEKTOR auf die drei betrachteten neuen Mitgliedsstaaten Polen, Tschechien und Ungarn übertragen. Die Datengrundlage für die Trendberechnungen liefern vorwiegend statistische Datenbanken der EU und der Food and

Agricultural Organisation (FAO) der Vereinten Nationen (EUROSTAT 2004; FAOSTAT 2004; 2005). Ergänzt werden sie durch die Berichterstattung der ZMP (ZMP 2003a; 2005a).

Polen dient – wie Deutschland für Bayern – als Beispiel für den Modellrahmen, der weitgehend auf Tschechien und Ungarn übertragen werden kann. Für diese Länder werden daher nur die Abweichungen gegenüber Polen beschrieben.

In den neuen Mitgliedsstaaten hatte der gesellschaftliche Umbruch nach 1989 erhebliche Auswirkungen auf die Lebenssituation der Bevölkerung und die Produktionsbedingungen. Die statistischen Erhebungen vor und nach dem Zusammenbruch der Sowjetunion bilden diese Veränderungen recht gut ab. Grundsätzlich wurden daher nur Daten nach 1990 in die Trendberechnungen einbezogen, abweichende Zeitreihen sind jeweils separat gekennzeichnet. Die länger zurückliegenden Entwicklungen werden jedoch als Maß für zukünftige Entwicklungsoptionen berücksichtigt.

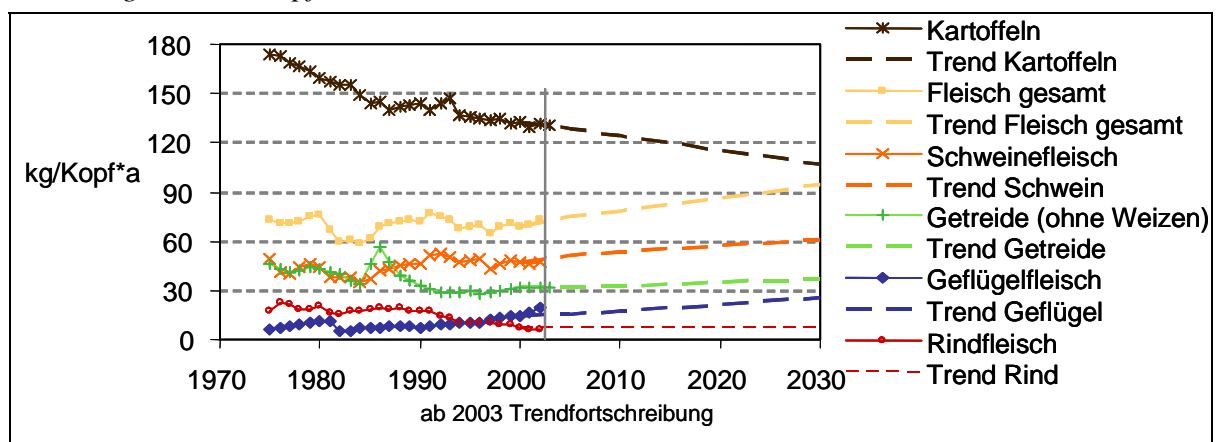
Auch in Polen, Tschechien und Ungarn ist die Nahrungsmittelproduktion die bestimmende Größe der landwirtschaftlichen Flächennutzung. Wie für Deutschland werden zudem Flächenansprüche für Bautätigkeit und Naturschutz betrachtet. (Zur Methodik der Annahmenentwicklung vgl., Kapitel 5.2.)

5.4.1 Nahrungsmittelbedarf

Der Nahrungsmittelverbrauch in Polen bis 2030 ergibt sich aus den Entwicklungen der Pro-Kopf-Verbräuche und der Bevölkerungszahl. Die Fortschreibung der Bevölkerungsentwicklung in HEKTOR basiert für Polen auf der Prognose der Vereinten Nationen (UN 2004). In der so genannten *mittleren Variante* wird bis 2030 einen Bevölkerungsrückgang auf 36,3 Mio. Einwohnern errechnet (vgl. Anhangstabelle 1).

Auch in Polen verschob sich in der Vergangenheit die Ernährungsgrundlage immer mehr von pflanzlichen hin zu tierischen Lebensmitteln (Abbildung 28). Ein kleines Zwischenhoch erlebte dabei der Fleischkonsum um 1990: Mit dem Abbau der Viehbestände in erheblichem Umfang sanken die Fleischpreise und der Konsum nahm zu. Mitte der 90-er Jahre folgte allerdings ein Einbruch im Verbrauch, der bisher nicht wieder aufgeholt wurde.

Abbildung 28: Pro-Kopf-Verbrauch in Polen nach 1975 und Trends bis 2030



(Datengrundlage: ZMP 2003a; Abele et al. 2004; EUROSTAT 2004; FAOSTAT 2004 und eigene Berechnungen)

Die Trends der verschiedenen Pro-Kopf-Verbräuche basieren auf linearen Regressionen mit den Daten nach 1991. Zudem berücksichtigt die Fortschreibung für tierische Lebensmittel die Ergebnisse einer Studie im Auftrag der EU-Kommission zur Verbrauchsentwicklung in den zentraleuropäischen Beitrittsländern (Abele et al. 2004). Die Studie geht zukünftig von leicht steigendem Schweinefleischverbrauch in Polen aus. Der Trend basiert auf Daten ab 1985. Dies gleicht die Verbrauchsschwankung um 1990 aus, die dem massiven Abbau der Tierbestände zuzurechnen ist. Der Anstieg bei Geflügelfleisch führt die Zeitreihe ab 1980 fort, der Rindfleischverbrauch stagniert.

Unter den pflanzlichen Nahrungsmitteln zeigt nur der Kartoffelverbrauch einen stark rückläufigen Trend. Der Gesamtverbrauch an tierischen Lebensmitteln wächst trotz sinkender Bevölkerung. Auch für Zucker wird mit einem Anstieg gerechnet, während der Getreideverbrauch stagniert.

5.4.2 Annahmen zur Landwirtschaft

Der Beitritt zur EU bedeutet für die Landwirtschaft der neuen Mitgliedsstaaten einerseits freien Zugang zum europäischen Binnenmarkt und damit neue Chancen auf diesen Märkten. Andererseits muss der gemeinschaftliche Besitzstand bezüglich Rechten und Pflichten, der *acquis communautaire* übernommen werden. Seit 1. Mai 2004 gelten daher prinzipiell alle Regelungen der GAP, einschließlich der Reform von 2003. Obwohl es keine generelle Übergangszeit gibt, wurden einige Übergangsregelungen für die Neumitglieder vereinbart, etwa eine schrittweise Einführung der Direktzahlungen bis 2013 (EU-Kommission 2004a).

Schon vor dem Beitritt wurde auf eine Angleichung der Systeme hingearbeitet. Für eine Öffnung der Märkte wurden z. B. bereits im Vorlauf Zölle mit so genannten 00-Abkommen abgebaut. Zudem unterstützt die EU mit Hilfe der Programme ISPA, PHARE und SAPARD die Heranführung an den gemeinsamen Markt (EU-Kommission 1999b).

Aufgrund dieser Maßnahmen gestaltete sich der eigentliche Beitritt in 2004 für den Agrarsektor unspektakulär. Weder wurde der deutsche Lebensmittelmarkt mit Produkten überschwemmt, noch führte der Beitritt zu dramatischen Preisausschlägen in den neuen Mitgliedsstaaten (DG AGRI 2004b).

Im Vergleich zur EU-15 besteht aber auch über 10 Jahre nach dem Zusammenbruch der Planwirtschaft ein großer Strukturunterschied, der sich erst langfristig annähern wird (DG AGRI 2002d). Insbesondere Polen mit seiner kleinen Betriebsstruktur und dem hohen Anteil an Subsistenzwirtschaft unterliegt einem starken Anpassungsdruck. Noch 2002 bewirtschafteten etwa 57 % der Betriebe weniger als 5 ha. Dies begründet sich in der geringen Kollektivierung des Landes zu Zeiten des Sozialismus (DG AGRI 2002b).

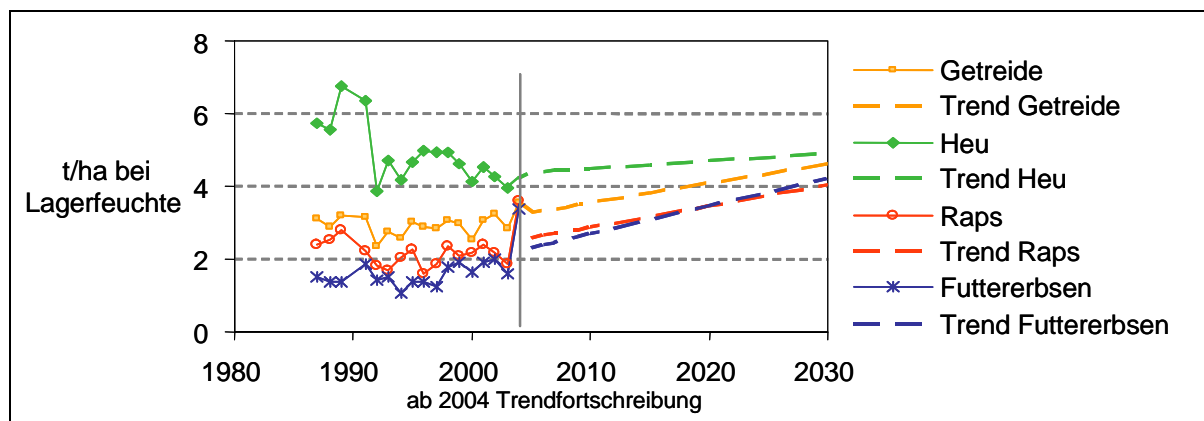
Während des Anpassungsprozesses entstanden neue Chancen aus verbesserten Handelsbeziehungen. Bereits ein halbes Jahr nach der Erweiterung waren die Handelsströme zwischen Alt- und Neumitgliedern stark angestiegen. Auch die Preise nähern sich bereits an den EU-Durchschnitt an (DG AGRI 2004b). Insgesamt zeichnet sich für die Landwirtschaft der neuen Mitgliedsstaaten ein Jahr nach dem Beitritt ein positives Bild ab. Auch langfristig werden sie Vorteile in der Verfügbarkeit von Flächen und Arbeit aufweisen. Kapital für Investitionen ist dagegen nach wie vor knapp (Heinrich 2004).

Neben den neuen Marktchancen bringt die GAP auch einige Restriktionen, insbesondere durch Marktordnungen und Quoten. Zudem müssen sich die neuen Mitgliedsstaaten jetzt innerhalb der EU den zukünftigen WTO-Verhandlungen stellen, deren Hauptforderungen im Abbau der Handelsrestriktionen und der Exportsubventionen liegen (Agra-Europe 2004). Wie sich der landwirtschaftliche Sektor in Polen innerhalb dieses Rahmens entwickelt, wird nachfolgend für die pflanzliche und tierische Produktion betrachtet. Die unterschiedlichen Entwicklungspfade der Landwirtschaft zeigen die Szenarien im Detail.

5.4.2.1 Pflanzenbau

Die Erträge im Pflanzenbau sind in Polen vergleichsweise niedrig und in der Vergangenheit nicht konstant gestiegen (Abbildung 29). Selbst bei Fortschreibung der Ertragssteigerungen bis 2030 wird das aktuelle Niveau in Deutschland nicht erreicht. Nach 1990 kam es zu erheblichen Störungen in der landwirtschaftlichen Produktion. Nachdem mit dem gesellschaftlichen System auch die Planwirtschaft zusammengebrochen war, gingen der Betriebsmitteleinsatz und die Erträge zurück (FAO 2003).

Abbildung 29: Ertragsentwicklung in Polen seit 1985 und Trends bis 2030



(Datengrundlage: EUROSTAT 2004; FAOSTAT 2005 und eigene Berechnungen)

Fast alle Kulturen haben sich von diesem Ertragseinbruch wieder erholt. Nur die Grünlanderträge waren weiter rückläufig. Dies begründet sich in den knappen Betriebsmitteln. Handelsdünger wird in der Mangelsituation eher auf produktivem Ackerland eingesetzt. Trotzdem rechnet die FAO künftig mit steigenden Erträgen (FAO 2003).

Die Ertragsberechnungen in HEKTOR berücksichtigen Daten ab 1992 in der linearen Regression, für Grünland nur von 1993 bis 2001. Für jede Kultur wurden zwei Produktionsniveaus definiert, die jeweils dem konventionellen bzw. dem ökologischen oder extensiven Landbau entsprechen.

Allerdings fehlen bisher Daten, wie sich in den neuen Mitgliedsstaaten das Produktionsniveau im ökologischen Landbau gegenüber dem konventionellen Landbau verhält. Die Ertragsunterschiede wurden daher an den europäischen Durchschnitt für die Ertragsdifferenz nach Offermann (2003) angelehnt (vgl. Tabelle 19). Nur bei Grünland wurde ein etwas geringerer Ertragsunterschied angenommen, da die konventionellen Erträge in den neuen EU-Mitgliedsstaaten sehr gering sind und über den Betrachtungszeitraum auch nur wenig steigen.

In Polen ging in der letzten Dekade die landwirtschaftlich genutzte Fläche leicht zurück. Bereits Anfang der 90-er Jahre nahm Getreide knapp 60 % der Ackerfläche ein. Der Anteil ist

seither stabil, bei einer Verschiebung weg von Roggen, hin zu Weizen und Triticale. Erhebliche Einbußen erlebte der Kartoffelanbau, der innerhalb von 10 Jahren um mehr als die Hälfte zurückging. Dies ist im sinkenden Nahrungsverbrauch und im rückläufigen Einsatz von Futterkartoffeln begründet (ZMP 2003c).

Tabelle 19: Annahmen zur Ertragsdifferenz zwischen konventionellem und ökologischem Landbau für Polen

Kultur	Differenz
Getreide	-30 %
Körnerleguminosen	-20 %
Mais	-20 %
Wiesen und Weiden	-10 %
Zuckerrüben	-20 %
Kartoffeln	-30 %
Raps	-40 %

(Quelle: In Anlehnung an Offermann 2003)

Die Umsetzung der aktuellen Agrarreform wird sich in den neuen Mitgliedsstaaten begrenzt auswirken, da bereits für die Einführung der GAP ein ähnliches System gewählt wurde. Welche Auswirkungen darüber hinaus durch die Neuordnung der Zuckermärkte entstehen, ist noch kaum abzuschätzen (vgl. dazu Kapitel 5.2.2.1).

Neu hinzu kommt ab 2009 die Stilllegungsverpflichtung²² (EU-Kommission 2004a). Aufgrund der Kleinerzeugerregelung werden nur größere Betrieben ab 15 - 20 ha dazu verpflichtet (Rat der EU 1999). In Polen fallen daher etwa 50 % der Betriebe aus der Verpflichtung²³. Da daraus Flächenpotenziale für den Biomasseanbau entstehen, wirkt die Stilllegungsverpflichtung im Modell als Untergrenze für die verfügbaren Flächen.

5.4.2.2 Rinderhaltung

In Polen ist die Rinderhaltung von erheblicher Bedeutung für die Landwirtschaft. Hier stehen mehr als die Hälfte aller Rinder der neuen Mitgliedsstaaten. Innerhalb der Rinderhaltung liegt der Schwerpunkt auf Milchvieh, mit 60 % des Gesamtbestands der zehn Beitrittsländer (ZMP 2003a). Innerhalb der Tierproduktion beansprucht die Rinderhaltung die größte Fläche.

Milchvieh

In den letzten zehn Jahren war die Milchproduktion stark rückläufig. Der Rückgang der Milchviehbestände war infolge steigender Milchleistung noch stärker (vgl. Abbildung 30). Erst nach 2000 folgte eine leichte Stagnationsperiode.

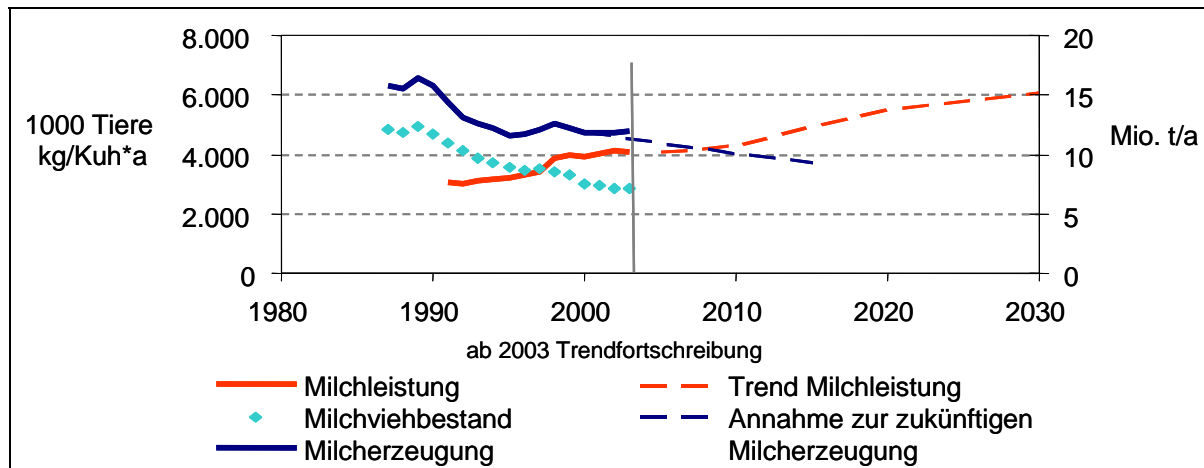
Während diese Entwicklung zwischen Bestandsabbau und steigenden Leistungen nicht nur in den neuen Mitgliedsstaaten, sondern auch in Deutschland das typische Bild darstellt, bestehen doch einige Besonderheiten. Im Hinblick auf die landwirtschaftliche Struktur bietet Polen ein sehr uneinheitliches Bild von vielen kleinen und wenigen sehr großen Betrieben. Dies ähnelt

²²Dies betrifft nur Länder, die sich bei der Einführung der Direktzahlungen für ein Single Area Payment Scheme (SAPS) entschieden haben. Bis auf Malta und Slowenien haben alle Neumitglieder diese Option gewählt.

²³Aufgrund der Datenlage wird hier vereinfachend mit der gesamten Betriebsfläche gerechnet, da eine Aufschlüsselung der Betriebsstrukturen nach Acker- und Grünland nicht vorliegt.

der dualen Betriebsstruktur im Osten und im Westen Deutschlands, allerdings nur bei halber Produktivität (Petrick et al. 2004).

Abbildung 30: Entwicklungen in der Milcherzeugung in Polen ab 1987 und Trends für Milchleistung und Milcherzeugung



(Datengrundlage: ZMP 2003a und eigene Annahmen; EUROSTAT 2004; FAOSTAT 2005)

Für die Milchproduktion sind die Subsistenz- und Semi-Subsistenzwirtschaft sehr wichtig, die ein Drittel zu den 12 Mio. t Gesamtproduktion beitragen (DG AGRI 2002d). Laut IFCN Dairy Report (IFCN 2004) waren sogar 40 % der Milchproduktion so genannte *informal milk*, die nicht offiziell geliefert oder verkauft wurde. Mit dem Beitritt ist die Milchquote bindend, welche die Milchproduktion zukünftig auf knapp 9 Mio. t begrenzen soll. Langfristig würde Polen dadurch zum Nettoimporteur von Milch. Da nur 45 % der Erzeuger die Milch an eine Molkerei liefern, ist die Kontrolle der Quote aber erschwert (Agra-Europe 2005b).

Daher wird in der vorliegenden Arbeit mit einer längeren Übergangszeit bis zur Umsetzung der Quote gerechnet: 2010 wird die Milchproduktion die Quote noch immer um etwa 1 Mio. t übersteigen (vgl. Abbildung 30). Nach der etwaigen Abschaffung der Quote nach 2015 scheint eine Ausdehnung der Produktion ähnlich wie in Deutschland folgerichtig. Die Mengenbegrenzung wird zunächst zu einer Stagnation der Milchleistungen pro Tier führen, um einen schlagartigen Bestandsabbau zu verhindern. Die Milchleistung in der ökologischen Landwirtschaft entspricht 90 % der konventionellen Milchleistung in Anlehnung an den mittleren Leistungsunterschied in der EU-15 (vgl. Offermann 2003).

Die vier Produktionsprozesse wurden aus dem Modell für Deutschland abgeleitet und angepasst (Tabelle 20). Da für viele Annahmen in HEKTOR keine statistischen Daten zu den neuen Mitgliedsstaaten der EU vorliegen, wurde auf die Berichte des International Farm Comparison Network (IFCN) zurückgegriffen (Beef Report und Dairy Report, IFCN verschiedene Jahrgänge-b). Mit Hilfe dieser Betriebsdaten wurden vier Produktionsprozesse in unterschiedlichen Intensitäten entwickelt. Die Futterpläne wurden anhand der Bedarfsdaten für Milchvieh nach Kirchgeßner (2004) überprüft.

Tabelle 20: Produktionsprozesse in der Milcherzeugung für Polen

Bezeichnung	Milchkuh Maissilage	Milchkuh Grassilage	Milchkuh Weide	Milchkuh Öko
Futterbasis 2000 (in TS)	Maissilage 54 % Grassilage 19 % Getreide 16 %	Grassilage 39 % Maissilage 21 % Kleegrassilage 19 % Getreide 18 %	Grünland* 77 % Getreide 14 %	Grünland* 80 % Getreide 9 % Kleegrassilage 8 %
Milchleistung [kg/Kuh*a]	2000: 3.900 2030: 6.000			2000: 3.500 2030: 5.400
Mistsystem	Flüssigmist 50 % Flüssigmist + Weide 25 % Festmist + Weide 25 %			Festmist + Weide

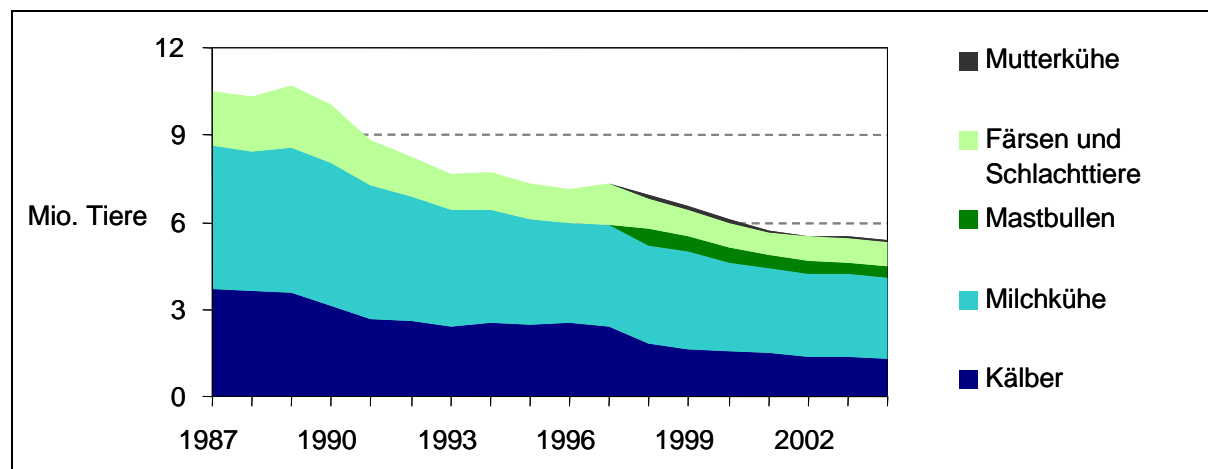
*Grünland: Grassilage, Weidegras und Heu zusammengefasst

(Quellen: IFCN 2000; 2001; 2002b; a; 2003b; a; ZMP 2003a; EUROSTAT 2004; IFCN 2004; FAOSTAT 2005 und eigene Annahmen)

Mastrinder

Die Rindfleischerzeugung ist fast vollständig an die Milcherzeugung gekoppelt, Mutterkuhhaltung existiert kaum (DG AGRI 2002e). Daher sind mit dem dramatischen Einbruch bei Milchvieh in der Dekade nach 1990 auch die gesamten Rinderbestände um mehr als 40 % gesunken (Abbildung 31). Trotzdem ist Polen ein Nettoexporteur von Rindfleisch (ZMP 2003a), was mit dem niedrigen Pro-Kopf-Verbrauch an Rindfleisch zu erklären ist.

Abbildung 31: Entwicklung der Rinderbestände in Polen nach 1987*



* Mastbullenbestände werden erst nach 1998 separat geführt

(Datengrundlage: EUROSTAT 2004)

In Polen werden nur 59 % der Rinder kommerziell geschlachtet. Eigentümlich ist der hohe Anteil an geschlachteten Kälbern, der 12 % der Rindfleischproduktion ausmacht, etwa dreimal so viel wie in Deutschland oder Tschechien (IFCN 2003a). Gleichzeitig exportiert Polen jährlich etwa 400.000 - 500.000 lebende Kälber. Auch der geringe Anteil an Fleischrassen zeigt die untergeordnete Bedeutung der Rindermast (Agra-Europe 2005c). Ergebnis ist eine geringere Produktivität. Das mittlere Schlachtgewicht liegt mit 165 kg/Tier wesentlich niedriger als in allen übrigen betrachteten Ländern (FAOSTAT 2005). Die Modellprozesse für Rindfleisch wurden mittels der Daten des IFCN-Networks und der ZMP für Polen angepasst (IFCN 2000; 2001; 2002b; a; 2003b; a; 2004). Zusätzlich wurde die ausreichende

Nährstoffversorgung in den Futterplänen nach Kirchgeßner (2004) überprüft. Die Fütterungseffizienz in den neuen Mitgliedsstaaten weist derzeit noch Defizite auf (Heinrich 2004). Daher wurde gegenüber Deutschland für 2000 ein Korrekturfaktor von + 20 % eingeführt.

Aufgrund der Kopplung zwischen Rindfleisch und Milch werden die Rinderbestände weiter in Abhängigkeit von den Milchviehbeständen sinken. In Polen wirkt die Milchquote besonders restriktiv. Der stagnierende Rindfleischverbrauch löst trotz steigender Rinderpreise keine Impulse am Markt aus. Die Erzeugung und der Rindersektor dürfte daher zukünftig nur langsam wachsen (Agra-Europe 2005c). Dies gilt auch längerfristig, da beim Rindfleisch die Semi-Subsistenzwirtschaft bedeutende Anteile erzeugt. Trotz geringer Marktchancen wird von einer steigenden Effizienz in der Fleischproduktion ausgegangen. In Anlehnung an Abele et al. (2004) verringert sich daher der Abstand zur Futtereffizienz in Deutschland in fünf Jahren um jeweils 1,5 %. Dadurch steigen im Modell die Schlachtgewichte bei konstantem Futtermittelverbrauch.

Grünland

Grünland wird vorwiegend durch die Rinderhaltung verwertet, wenngleich mit geringeren Anteilen als in Deutschland. Die Nutzung durch Pferde und Schafe bleibt dahinter weit zurück. Sie wird pauschal anhand von Durchschnittsbeständen ermittelt und für den gesamten Betrachtungszeitraum konstant weitergeführt.

Da nach dem EU-Beitritt mit Umsetzung der Agrarreform auch in Polen Grünland als erhaltenswert geschützt werden soll, wird auch hier ein Erhaltungsgebot für Grünland implementiert. Die Verteilung und zukünftige Nutzung hängt jedoch auch von Nutzungsalternativen zur Rinderhaltung ab.

5.4.2.3 Schweine- und Geflügelhaltung

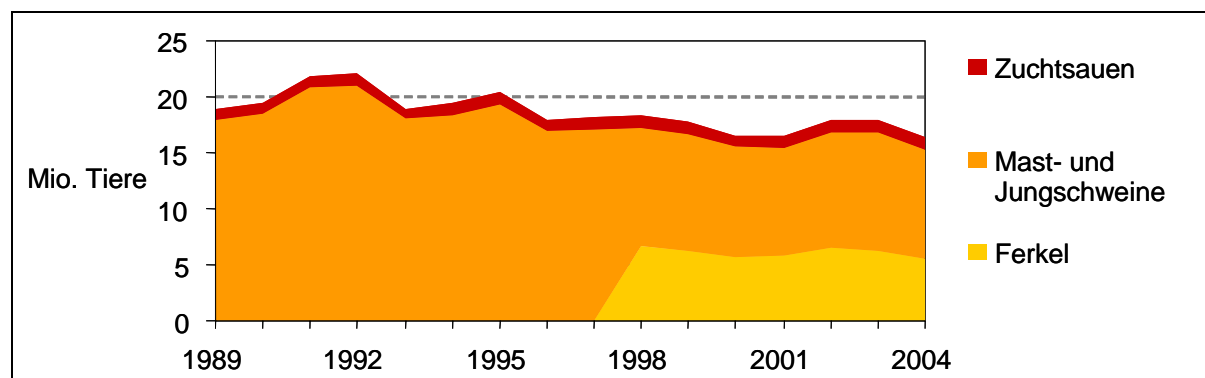
Die Schweinehaltung ist der zweitgrößte Flächennutzer in der Tierhaltung. Sie beansprucht einen etwas größeren Anteil der Flächen als in Deutschland. Dagegen sind die Flächen für die Geflügel- und Legehennenhaltung kaum relevant. Da diese Märkte relativ wenig reguliert sind, wirken sich Beitritt und Reform der GAP weniger stark aus. Langfristig werden sich aber Strukturveränderungen innerhalb Europas ergeben, wodurch die neuen Mitgliedsstaaten in Angebot und Nachfrage noch stärker in die europäischen Märkte integriert werden.

Mastschweine

Der Schweinebestand in Polen geht seit 1990 zurück, wenn auch in wesentlich geringerem Maße als der Rinderbestand. In Zyklen können Unterbrechungen des Trends beobachtet werden. Eigentümlich ist der geringe Zuchtsauenbestand von 6 % des Gesamtbestands (Abbildung 32).

Die Produktionsprozesse für Schweinefleisch weisen höhere Getreideanteile in der Fütterung auf, bei erheblichen Unterschieden in der Futtermittelverwertung im Vergleich mit Deutschland (Abele et al. 2004; Gatzka et al. 2004). In HEKTOR wird daher für 2000 ein Aufschlag von +15 % auf die Futtermittelverwertung angenommen, der im Laufe der Zeit abnimmt. Bei der konventionellen Mast geht außerdem ein höherer Anteil an Festmistsystemen von 50 % in HEKTOR ein.

Abbildung 32: Entwicklung der Schweinebestände in Polen nach 1989*



*vor 1998 Ferkel nicht ausgewiesen

(Datengrundlage: ZMP 2003a; EUROSTAT 2004)

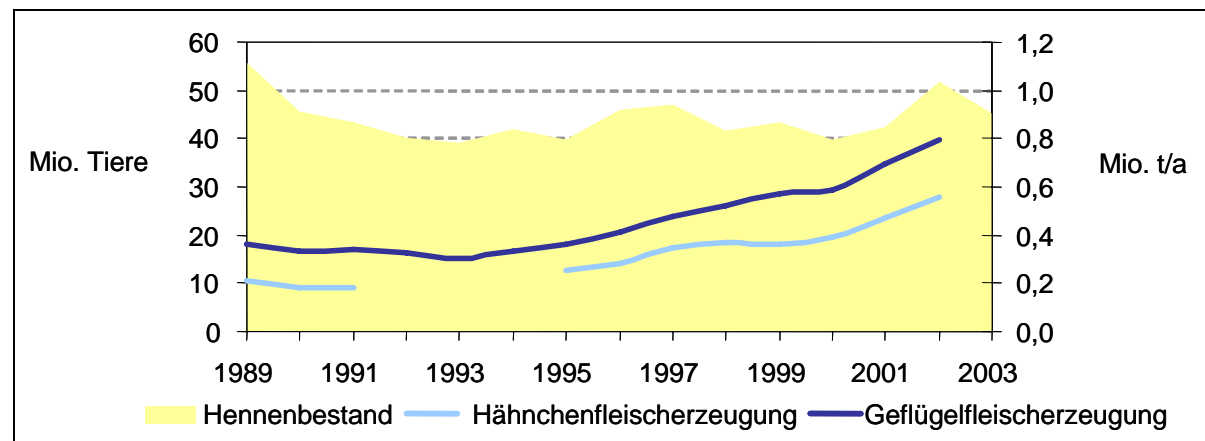
Die polnische Schweinefleischerzeugung folgt ähnlichen Zyklen wie in der EU oder auf den Weltmärkten (DG AGRI 2002e). Wie auch in anderen Sektoren werden sich in Polen Konzentrationsprozesse und Strukturwandel fortsetzen, um sich den europäischen Markterfordernissen anzupassen. Eine treibende Kraft wird die steigende Inlandsnachfrage nach Schweinefleisch sein (DG AGRI 2002d; Abele et al. 2004).

Ob die Produktionssteigerung mithalten kann ist eher schwer zu beantworten. Während die DG AGRI (2002d) in verschiedenen Szenarien bei Umsetzung der GAP in Polen ein Versorgungsdefizit ermittelt, gehen US-Experten von erheblichen Exportchancen in den nächsten Jahren aus. Allerdings wird diese Entwicklung stark davon geprägt werden, ob sich die Investitionen durch kapitalstarke Unternehmen oder die Produktionsaufgabe kleiner Betriebe bei schwachen Preisen stärker auswirkt (ZMP 2003d). Polnische Experten rechnen für 2020 mit einem Schweinebestand, der in etwa dem heutigen entspricht (ZMP 2003b). Beide Entwicklungen werden Rückkopplungen auf den Verbrauch verursachen.

Geflügel

Zwar beansprucht die Geflügelhaltung nur geringe Flächen in Polen, die Produktion wächst jedoch im Gegensatz zu Schwein und Rind. So haben sich etwa die Legehennenbestände in den letzten Jahren wieder erholt (Abbildung 33).

Abbildung 33: Entwicklung der Eier- und Geflügelproduktion in Polen nach 1989



(Datengrundlage: EUROSTAT 2004)

Anhand der Produktionsentwicklung bei Masthähnchen lässt sich seit Mitte der 90-er Jahre eine sehr dynamische ansteigende Entwicklung erkennen. Diese wird einerseits von der starken Verbrauchszunahme bei Geflügelfleisch angetrieben, andererseits konnte Polen auch international Marktanteile gewinnen. Seit 1998 wird Geflügelfleisch sogar netto exportiert.

In den Prozessen für die Legehennenhaltung wurden geringere Sojaanteile und Futtermengen angesetzt. Letzteres reflektiert die niedrigere Legeleistung, die in den Prozessen mit 203 Stück/Legeperiode für Käfig- und Bodenhaltung und mit 142 Stück/Legeperiode bei ökologischer und Freilandhaltung angenommen wird.

Die Mastgeflügelprozesse wurden weitgehend von Deutschland übernommen (vgl. Kapitel 5.2.2.3, Tabelle 13), bei einer um 15 % schlechteren Futtermittelverwertung, die sich jedoch über die Zeit verbessert (vgl. Rind- und Schweinefleischerzeugung)

Für die Weiterentwicklung in der Geflügelproduktion wurden die Trends fortgeschrieben, unter Einbeziehung von Politikfolgenabschätzungen (DG AGRI 2002d), die erhebliche Chancen für die Geflügelfleisch- und Eierproduktion in Polen sehen. Dies ist dem polnischen Gesamttrend vom Agrarimporteureur zum Agrarexporteureur konform.

5.4.2.4 Validierung der Flächen und Tierbestände

Die Abbildungsgenauigkeit von HEKTOR für Polen wurde zunächst anhand der Flächen-ergebnisse und der europäischen Landwirtschaftsstatistik für 2000 überprüft (EUROSTAT 2004). Die Validierungsergebnisse zeigt Tabelle 21.

HEKTOR weist die polnische Flächennutzung bis auf weniger als 3 % Abweichung genau aus das Validierungsziel von weniger als 10 % Abweichung zwischen beiden Flächenergebnissen wurde also sehr gut erreicht. Dabei wird die Grünlandfläche um 90.000 ha und die Ackerfläche um 230.000 ha überschätzt.

Tabelle 21: Vergleich der landwirtschaftlichen Flächennutzung nach HEKTOR und der europäischen Statistik für Polen (2000)

Bezeichnung	Einheit	Grünland	Getreide	Silomais	Kartoffeln & Rüben	Kleegras	Hülsenfrüchte
Fläche HEKTOR	Mio. ha	3,95	7,33	0,48	0,65	0,58	0,13
Fläche Statistik	Mio. ha	3,86	7,11	0,48	0,65	0,56	0,14
Differenz	%	-2,2	-3,1	+0,5	+0,8	-4,9	+9
Insgesamt	%	-2,4					

(Quelle: EUROSTAT 2004 und eigene Berechnungen)

Auch auf der weniger aggregierten Ebene für Ackerkulturen bildet das Modell die tatsächlich genutzten Flächen recht genau ab. Die Flächenbindung für Sojaimporte trifft HEKTOR mit einer Abweichung von weniger als 7 %. Die Validierung sichert auch die Variationen der Futterpläne in den verschiedenen Prozessen gegenüber Deutschland ab. Dies ist von besonderer Bedeutung, da genauere Daten zur Fütterung in Polen fehlen.

Zur Absicherung trägt zudem der Vergleich der Tierbestände bei, den Tabelle 22 zeigt. Bei Mutterkühen wird das Abweichungsziel von weniger als 10 % nicht erreicht. Allerdings ist hier die geringe Gesamtanzahl von nur 3% aller polnischen Kühe zu bedenken. Die absolute Abweichung von 30.000 Kühen ist gegenüber dem Gesamtbestand an Rindern von untergeordneter Bedeutung.

Tabelle 22: Vergleich der Anzahl an Nutztiere nach HEKTOR und der amtlichen Statistik für Polen (2000)

Bezeichnung	HEKTOR	Statistik	Differenz
	Mio. Stk.	Mio. Stk.	%
Fleischrinder	1,2	1,2	-5
Milchkühe	3,1	3,0	-2
Mutterkühe	0,12	0,08	-32
Schweine	24	23	-6
Legehennen	46	43	-6

(Quelle: EUROSTAT 2004 und eigene Berechnungen)

Die schlechte Datenlage zu Mastgeflügel in Polen lässt keinen Vergleich der Puten- und Masthähnchenbestände zu. Selbst hohe Abweichungen zum tatsächlichen Bestand beeinflussen die Biomassepotenziale durch den relativ geringen Flächenanspruch für die Geflügelfleischproduktion nur wenig. Die Anpassung von HEKTOR an die Statistik bei den wichtigsten Tierbeständen – Mastrindern, Milchkühen und Schweinen – ist relativ genau.

Nach Festlegung der Rahmendaten für die Landwirtschaft wird im Folgenden der Modellrahmen außerhalb der Landwirtschaft beschrieben. Wie für Deutschland und Bayern werden dabei Siedlungs- und Verkehrsflächen und der Bedarf an Naturschutzflächen analysiert.

5.4.3 Außerlandwirtschaftliche Flächennutzung

5.4.3.1 Flächenverbrauch

Für den *Flächenverbrauch* für Siedlung und Verkehr liegen in den betrachteten neuen Mitgliedsstaaten der EU nur begrenzt Daten vor. Die Datenerhebungen sind weder langfristig konsistent noch detailliert genug, um Trendberechnungen zu erstellen. Im Modell wurden für den Flächenverbrauch eigene Annahmen wie folgt abgeleitet:

Zunächst wurde der Flächenverbrauch aus der Zunahme der gesamten bebauten Fläche laut europäischen Statistik ermittelt (EUROSTAT 2004). Im Gegensatz zu Deutschland nahm der Flächenverbrauch in der Vergangenheit nicht konstant zu, sondern weist ein Maximum von über 60 ha/d Anfang der 80-er Jahre aus. Im Zuge des politischen Umbruchs ging auch die Bautätigkeit und damit der Flächenverbrauch Mitte der 90-er Jahre auf 30 ha/d zurück.

Eine detaillierte Erfassung verschiedener Nutzungsformen für die europäische Statistik ist erst ab 2000 verfügbar. Betrachtet man die aktuellen Daten, so beträgt der Flächenverbrauch zwischen 1995 und 2000 sogar nur noch 9 ha/d. Es ist jedoch nicht feststellbar, in welchem Maße dieser Rückgang auf der veränderten statistischen Erfassung oder dem Rückgang der Bautätigkeit für Siedlung und Industrie beruht.

Im Vergleich zu Deutschland wurde in Polen in der letzten Dekade pro Kopf nur die Hälfte der Fläche verbraucht, was im Hinblick auf die wesentlich schwächere Produktionsleistung kaum verwundert. Bereits verbaute Flächen, die nach dem gesellschaftlichen Umbruch stillgelegt wurden und nun wieder genutzt werden, halten den Flächenverbrauch ebenfalls gering. Der Verbrauch an Flächen wird mit steigendem Wirtschaftswachstum und Wohlstand aber ähnlich wie in Deutschland anwachsen.

In HEKTOR wird daher zunächst der durchschnittliche Flächenverbrauch der letzten Dekade mit knapp 24 ha/d und langfristig ansteigend angenommen. Ein Rückgang des Flächen-

verbrauchs durch aktive Politikmaßnahmen ist derzeit nicht absehbar und kann daher nur innerhalb der Szenarien implementiert werden. Die Bautätigkeit geht zu Lasten der landwirtschaftlichen Flächen, da die Waldflächen in der Vergangenheit zunahm (vgl. dazu auch das folgende Kapitel 5.4.3.2). Zusätzliche Siedlungs- und Verkehrsflächen werden daher dem Acker- und Grünland entsprechend ihrem derzeitigen Flächenverhältnis zu 78 % bzw. 22 % des Flächenverbrauchs angerechnet. Für Ausgleichsflächen gibt es im Gegensatz zu Deutschland keine gesetzliche Verpflichtung.

5.4.3.2 Flächenansprüche des Naturschutzes

Für die neuen EU-Mitglieder liegt noch keine Analyse der Flächenkonkurrenz mit dem Naturschutz vor. Eine eigene umfassende Betrachtung aktueller Nutzung und Defizite sprengt jedoch den Rahmen dieser Arbeit. Daher wird ein Flächenvorhalt abgeschätzt, ohne auf die Qualität der Flächen genauer einzugehen. Für diese Abschätzung wurden die Daten aus der *World Database on Protected Areas* (WDPA) zugrunde gelegt. Diese weist die Flächen in den international definierten Schutzkategorien der *World Conservation Union* (IUCN) aus (WDPA 2005). Tabelle 23 zeigt die Naturschutzflächen in Polen. Flächen mit hohem Schutzniveau, die Ausschlussflächen für den Biomasseanbau sind, nehmen nur einen geringen Anteil an der Landfläche ein. Wesentlich höher ist der Anteil der Flächen mit geringem Schutzniveau, die unter Umständen einer landwirtschaftlichen Nutzung noch zur Verfügung stehen. Schwierig ist die Trennung zwischen geschützter Landwirtschafts- und Forstfläche, die in der WDPA nicht getrennt ausgewiesen werden.

Tabelle 23: Naturschutzflächen in Polen nach IUCN-Kategorien (2003)

Schutzgebiet	IUCN-Kategorie	Fläche [ha]	Anteil an der Landfläche
Nationalparke	I+II	200.000	0,7 %
Naturschutzgebiete	III+IV	164.000	0,5 %
Landschaftsschutzgebiete	V	2.440.000	8 %
Sonstige geschützte Fläche	-	6.250.000	21 %

(Quelle: WDPA 2005)

Landwirtschaftliche Nutzung und Naturschutz schließen sich aber auch außerhalb dieser offiziellen Flächenkategorien nicht aus. Dies zeigt insbesondere der hohe Anteil an *high nature value (HNV) farmland*, das aufgrund der geringen Intensität der Bewirtschaftung eine hohe Biodiversität gewährleistet. Diese hohe Umweltqualität ist sowohl durch Intensivierung als auch durch Nutzungsaufgabe gefährdet (EEA 2004). Gerade in den neuen Mitgliedsstaaten bestehen noch hohe Anteile von HNV-Landwirtschaft, besonders in Polen wo viele kleine Betrieben nur wenig Betriebsmittel einsetzen (OECD 1999). Während in Deutschland nur 2 - 5 % der landwirtschaftlich genutzten Flächen in diese Kategorie fallen, liegen die Anteile in Ländern mit geringerer Intensität in Süd- und Nordeuropa wesentlich höher. In der EU-15 entfallen durchschnittlich 15-25 % der landwirtschaftlich genutzten Fläche auf HNV-Farming. Dies gilt umso mehr für die Länder in Mittel- und Osteuropa. Hier ist die Intensität des Anbaus, gemessen am Düngereinsatz, nur halb so hoch wie in der EU-15. Insbesondere fast 2 Mio. ha Dauergrünland sind als halb-natürliche Grasländer erhaltenswert (EEA 2004). Die polnische Landwirtschaft verursacht also derzeit noch relativ geringe Umweltschäden und trägt gleichzeitig zum Naturschutz bei.

Sowohl die im europäischen Vergleich niedrigen Anteile an Naturschutzflächen als auch der hohe Anteil des HNV-Farming muss für die zukünftige Entwicklung des Flächenbedarfs für den Naturschutz berücksichtigt werden. HNV-Farming kann außerhalb der Naturschutzflächen über einen höheren Anteil an extensiver Landwirtschaft berücksichtigt werden. Im Modell ist daher anders als für Deutschland nicht nur die Geschwindigkeit und Größe der Flächenausweisung zu bestimmen, sondern auch der Anteil extensiver Landwirtschaft in der Dateneingabe von HEKTOR zu verändern.

Innerhalb der Weiterentwicklung von Naturschutzflächen, die ganz aus der landwirtschaftlichen Nutzung fallen, können zunächst nur Ziele berücksichtigt werden, die im Rechtsrahmen verankert sind. Auf europäischer Ebene ist auch hier die Übernahme des *acquis communautaire* nötig. Für den Naturschutz sind damit die Anforderungen der Birds- und Habitat-Richtlinien bindend, die die Grundlage für das europäische Natura2000-Netz bilden (EU-Kommission 1998). Bis März 2005 hat Polen danach 2,4 Mio. ha oder 7,8 % der Landfläche an *Special Protection Areas* (Vogelschutz) und 1,2 Mio. ha oder 3,7 % der Landfläche an *Sites of Community Importance* (Habitatschutz) ausgewiesen (EU-Kommission 2005b). Zwischen diesen Flächen gibt es allerdings Überschneidungen.

Die Ausweisungsfläche für Vogel- und Habitatschutz hängt wiederum von den politischen Rahmenbedingungen ab. Welche Flächen in Frage kommen, wurde unter anderem auf Basis der *CORINE biotopes data base* ermittelt (Makomaska-Juchiewicz et al. 2003). Für Vogelschutz werden darin 5,6 Mio. ha und für Habitatschutz 3,25 Mio. ha vorgeschlagen, die sich allerdings auf 2 Mio. ha überschneiden.

Ob ein Teil dieser Flächen zukünftig unter Schutz gestellt wird, ist derzeit aber noch nicht absehbar. Auf nationaler Ebene gibt es keine konkreten Vorgaben, bis auf das Ziel, die Waldfläche in Polen bis 2050 auf 33 % der Landfläche auszuweiten (Polnisches Umweltministerium 1997). Zumindest diese zukünftigen Waldflächen gehen zu Lasten von Acker- und Grünland. Die Szenarien betrachten weitere Ausschlussflächen sowie die Umsetzungsgeschwindigkeit und den Erhalt von HNV-farming, wofür bisher noch keine Ziele bestehen.

Damit schließt die Betrachtung der drei Kriterien der Flächennutzung für Polen: Nahrungsmittelproduktion, Bautätigkeit und Naturschutz. Polen dient seinerseits als Paradigma für die Erweiterung der Modellfamilie um Tschechien und Ungarn.

5.5 Modellannahmen für die Flächennutzung in Tschechien

Für die Anpassungen von HEKTOR an tschechische Verhältnisse ist zu berücksichtigen, dass das wirtschaftliche und strukturelle Gefälle zwischen Tschechien und der EU-15 geringer ist als zu Polen. Damit wird sich Tschechien schneller an den europäischen Durchschnitt angleichen. Auch im Lebensstandard und in der Ernährung bestehen geringere Unterschiede, wie das folgende Kapitel zeigt. Für die Trendfortschreibung kann allerdings nur auf Daten seit 1993 zurückgegriffen werden, nachdem sich die Tschechoslowakei in die Tschechische und Slowakische Republik aufteilte.

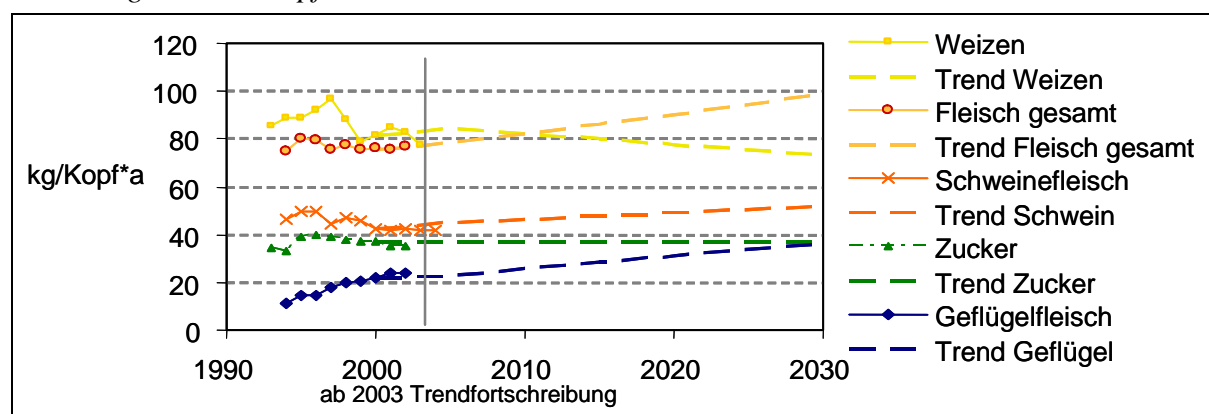
5.5.1 Nahrungsmittelbedarf

Der Pro-Kopf-Verbrauch pflanzlicher Nahrungsmittel ist rückläufig, während die tierischen Produkte in der Ernährung zunehmen. Im Vergleich zu Polen zeigen die Trendkurven jedoch geringere Steigungen, das Ernährungsverhalten ist also relativ stabil. Abbildung 34 zeigt die Trends für den Nahrungsmittelverbrauch auf Basis linearer Regressionen.

Der zukünftige Fleischverbrauch in HEKTOR berücksichtigt zusätzlich Prognosen von Abele et al (2004). Daher wird der Rindfleischverbrauch als nur geringfügig rückläufig und der Schweinefleischverbrauch als ansteigend angenommen. Bei Geflügelfleisch ist der langfristige Trend auf Basis der Daten der Tschechoslowakei seit 1976 rückläufig. Beim übrigen Getreide (ohne Weizen) schwankte der Verbrauch in der Vergangenheit so stark, dass eine Trendberechnung nicht möglich war.

Stattdessen wurde eine Stagnation des Verbrauchs auf dem mittleren Niveau von 1998 bis 2002 angenommen. Die Abnahme des Gesamtverbrauchs an pflanzlichen Nahrungsmitteln wird durch den Bevölkerungsrückgang verstärkt (vgl. Anhangstabelle 1), durch den die Bevölkerung bis 2030 auf 9,6 Mio. sinken soll (UN 2004). Bei tierischen Lebensmitteln stagniert der Gesamtverbrauch oder steigt leicht an.

Abbildung 34: Pro-Kopf-Verbrauch in Tschechien nach 1993 und Trends bis 2030



(Datengrundlage: ZMP 2003a; Abele et al. 2004; EUROSTAT 2004; FAOSTAT 2004 und eigene Berechnungen)

5.5.2 Annahmen zur Landwirtschaft

Der Rahmen für die Weiterentwicklung der Landwirtschaft in den neuen Mitgliedsstaaten wurde bereits für Polen beschrieben und gilt weitgehend auch für Tschechien (vgl. Kapitel 5.4.2). Die aktuelle Struktur der Landwirtschaft in Tschechien spiegelt die gesellschaftlichen Umwälzungen der letzten 50 Jahre wider: Zunächst erfolgte die Kollektivierung des Landes im sozialistischen System und nach dem Umbruch die Reprivatisierung der landwirtschaftlichen Flächen. In der Folge werden heute über 70 % der Flächen von Betrieben mit durchschnittlich knapp 900 ha bewirtschaftet. Daneben existieren sehr viele kleine Betriebe, weswegen im Mittel auf jeden tschechischen Betrieb 65 ha entfallen (DG AGRI 2002c).

5.5.2.1 Pflanzenbau

Betrachtet man die Erträge im Pflanzenbau, so zeigen sich in Tschechien deutlich stabilere Erträge als in Polen. Insbesondere bei Getreide, Zuckerrüben und Raufutter sind die Erträge

vergleichsweise hoch. Die linearen Ertragstrends basieren auf statistischen Daten seit 1994, für Grünland ab 1992. Bei Silomais führte dieses Vorgehen aber zu einer rückläufigen Ertragsprognose. Das widerspricht den Vorhersagen der FAO und des IFPRI, wonach Mais den weltweit höchsten Ertragszuwachs aller Getreidearten aufweisen wird und die höchsten Ertragszuwächse in den Transformationsländern erwartet werden (Rosegrant et al. 2001; FAO 2003). Daher wächst der Silomaisertrag in HEKTOR ähnlich wie in den anderen betrachteten Ländern um durchschnittlich 1 % pro Jahr. Die Ertragsniveaus der extensiven Pflanzenproduktion wurden gegenüber dem konventionellen Landbau in Anlehnung an den Durchschnitt in der EU-15 nach Offermann (2003) reduziert (vgl. Kapitel 5.4.2.1, Tabelle 19).

Im Gegensatz zu den bisher betrachteten Ländern ist der Umfang der Acker- und Grünlandflächen in Tschechien längerfristig stabil. Im Anbauverhältnis erkennt man aber ebenfalls eine langfristige Verschiebung hin zu Getreide. Einzig bei Ölsaaten ist seit Ende der 90-er Jahre eine starke Anbauausdehnung auf etwa 400.000 ha zu beobachten. Etwa 30 - 50 % der Ölsaatenproduktion wurde dabei in die EU exportiert (EUROSTAT 2004). Rückläufig sind dagegen Hackfrucht- und Feldfutteranbau.

Für Tschechien wurden vor dem Beitritt zur EU hohe Exporte für Getreide von bis zu 30 % der Ernte bis 2012 prognostiziert (DG AGRI 2002d). Dies ist auch auf den Produktivitätszuwachs zurückzuführen, der im Pflanzenbau in den letzten Jahren dreimal so hoch war wie in der Tierproduktion (Zinke 2005). Nach dem Beitritt zur EU zeichnete sich bereits ein erheblicher Getreideüberschuss ab, der aber auch auf die europaweit gute Ernte zurückgeht (ZMP 2005b). Erst die Stilllegungsverpflichtung wird der steigenden Getreideproduktion entgegen wirken. In Tschechien muss die obligatorische Stilllegung ab 2009 eingeführt werden. HEKTOR rechnet mit einer Kleinerzeugerbefreiung für 25 % der Betriebe, die weniger als 15 - 20 ha Flächenausstattung besitzen. Diese Stilllegungsverpflichtung setzt dann weitere Flächen frei.

Im Jahr 2000 belief sich die offizielle Stilllegungsfläche auf gut 70.000 ha. Daneben haben nach 1990 die Bracheflächen erheblich zugenommen. Ende der 90-er Jahre wurde geschätzt, dass 100.000 - 300.000 ha aus der Bewirtschaftung genommen wurden, vorwiegend auf weniger fruchtbaren Böden und in hängigem Gelände (Ratinger et al. 1998; Královec 2001). Da erhebliche Unsicherheit gegenüber der tatsächlichen Größe der Bracheflächen und ihrer Bewirtschaftbarkeit besteht, wird nur der untere Wert für das Flächenpotenzial angerechnet.

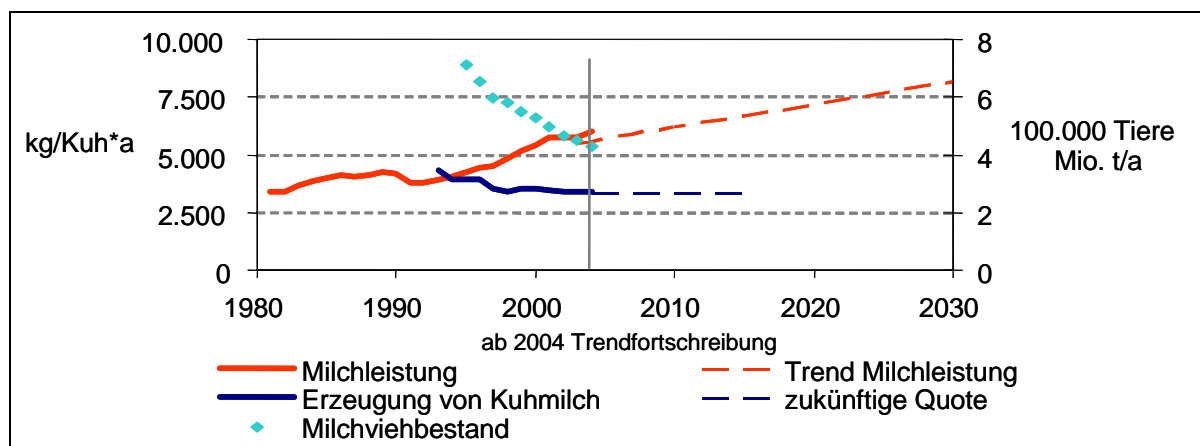
5.5.2.2 Rinderhaltung

Die Veredelung spielt in Tschechien eine große Rolle, wobei Milch den größten einzelnen Exportwert darstellt (FAOSTAT 2005). Die Milchleistung pro Kuh ist in der Vergangenheit stark gestiegen und reicht bereits fast an den Durchschnitt der EU-15 heran (vgl. Abbildung 35). Da gleichzeitig die Erzeugung von Kuhmilch zurückging, hat sich der Milchviehbestand innerhalb von zehn Jahren fast halbiert.

Zukünftig wird die Milchquote die Produktion begrenzen. In Tschechien wird dies konsequenter durchzusetzen sein als in Polen, da einerseits die Anlieferungsquote höher ist und andererseits die Versorgung der eigenen Bevölkerung trotzdem gewährleistet bleibt (DG AGRI 2002d). Bereits vor dem Beitritt sank so die produzierte Menge auf das Quotenniveau.

Die Trendberechnung für die Milchleistung berücksichtigt die Entwicklung seit 1980. Die Werte der Tschechoslowakei wurden um die Leistungsdifferenz zum heutigen Tschechien korrigiert. Bis 2030 erreichen konventionelle Kühe danach eine Milchleistung von 8200 l/a. Die Leistung in der ökologischen Milchviehhaltung ist analog zum europäischen Durchschnitt um 10 % geringer (Offermann 2003). Die Produktionsprozesse für Milch wurden mit Hilfe statistischer Daten und Erhebungen des IFCN in Tschechien modifiziert (Beef Report und Dairy Report, IFCN verschiedene Jahrgänge-b). Die Futterpläne wurden in Anlehnung an Kirchgeßner (2004) auf die Erfüllung des Nährstoffbedarfs hin überprüft.

Abbildung 35: Entwicklungen in der Milcherzeugung in Tschechien nach 1980, künftige Milchquote und Trend der Milchleistung



(Datengrundlage: ZMP 2003a; EUROSTAT 2004; FAOSTAT 2005 und eigene Annahmen)

In Abhängigkeit von der Milchproduktion produzierte Tschechien lange Zeit mehr Rindfleisch, als für die Eigenversorgung benötigt wurde. Erst nach 2000 waren die Milchviehbestände so weit gesunken, dass Rindfleisch netto importiert wurde. Seither wurde auch die früher unbedeutende Mutterkuhhaltung etwas ausgedehnt.

Die Prozesse für die Rindfleischproduktion in Tschechien wurden auf die höheren Schlachtgewichte bei Rindern angepasst. In die Futterpläne gehen Daten des IFCN-Networks (IFCN verschiedene Jahrgänge-a; b) ein. Die Korrektur der Fütterungseffizienz von +20 % gegenüber Deutschland wurde übernommen, die Effizienz steigt alle fünf Jahre um 1,5 %. Die Restriktion durch die Milchquote führt zukünftig zu einem Rückgang der daran gekoppelten Mastrinderbestände. Dem wirkt der Aufbau von Mutterkuhbeständen entgegen. Dieser war in den letzten Jahren erheblich (Kvapilík et al. 2005), trotzdem konnte er den Rückgang der Rindfleischproduktion nicht ganz kompensieren. Zukünftig soll in Tschechien der Verbrauch leicht zurückgehen (Abele et al. 2004), gefolgt von der Rindfleischerzeugung (Zinke 2005). Die Mutterkuhhaltung wird weiter zunehmen, wenn das Versorgungsdefizit zu verbesserten Markchancen für Mäster führt.

Tschechien weist einen geringen Grünlandanteil auf, der im Modell vorwiegend der Milcherzeugung zugerechnet wird. Die Grünlandnutzung durch Schafe und Pferde bleibt auf Basis der aktuellen Bestände konstant. Die zukünftige Nutzung des Grünlands hängt vor allem von der Weiterentwicklung der Rinderbestände und deren Futterbasis ab. Für die Steigerung der Milchleistung wird weiter hochwertiges Futter benötigt. Die aktuell in Tschechien erzielten Grünlanderträge weisen jedoch auf eher extensive Grünlandbewirtschaftung hin, mit den

einhergehenden Problemen für die Futterqualität. Für das Ziel, Grünland in der Nutzung zu halten, ist daher die Entwicklung der extensiven Rindermast ausschlaggebend.

5.5.2.3 Schweine- und Geflügelhaltung

Die tschechische Schweinehaltung folgte dem allgemeinen Trend zum Abbau der Mastbestände, insbesondere im Vorfeld des EU-Beitritts, trotz eines steigenden Fleischverbrauchs. Für Schweinefleisch wurden die Produktionsprozesse im Hinblick auf die geringe Sojaverwendung in Tschechien angepasst. Hier wurde eine gegenüber Deutschland um 10 % schlechtere Futterverwertung angesetzt.

Für die Schweinefleischproduktion wurden vor dem Beitritt in Tschechien nur wenige Expansionsmöglichkeiten gesehen (DG AGRI 2002d). Aktuelle Analysen gehen jedoch von besseren Chancen für tschechische Schweinemäster aus, wenngleich in der Fleischindustrie noch Kapital für die nötigen Investitionen fehlt (Kohlmüller 2005).

Der Geflügelprodukte wurden vor der Erweiterung gute Exportchancen prognostiziert (DG AGRI 2002d). Vor allem bei Geflügelfleisch wird die Produktion ausgedehnt, was den langfristigen Trend fortsetzt. Zwar war die Legehennenhaltung leicht rückläufig, die Haltungsverordnung in Deutschland wird aber zukünftig Anreize für tschechische Exporte geben. Für die Modellannahmen bedeutet das eine Beibehaltung der Selbstversorgung bei Eiern und eine Ausdehnung des Selbstversorgungsgrads bei Geflügelfleisch über 100 % hinaus.

Die Geflügelfleischprozesse wurden einschließlich der Annahmen zur Futterverwertung von Deutschland und Polen unverändert übernommen (vgl. Kapitel 5.2.2.3). Auch die Legehennenhaltung basiert auf den Prozessen für Polen. Da die Legeleistung in Tschechien wesentlich höher ist, wurde die benötigte Futtermenge proportional um 20 % erhöht. Für Käfighühner wurden 270 Eier pro Tier und Jahr angesetzt und für Freilandhaltung 189 Eier.

5.5.2.4 Validierung der Flächen und Tierbestände

Die folgende Tabelle 24 zeigt den Vergleich der Flächensalden nach HEKTOR und der Statistik für 2000 nach EUROSTAT (EUROSTAT 2004) Für Tschechien ergibt sich eine etwas schlechtere Anpassung als für die bisher erstellten Modelle.

Tabelle 24: Vergleich der landwirtschaftlichen Flächennutzung nach HEKTOR und der europäischen Statistik für Tschechien (2000)

Bezeichnung	Einheit	Grünland	Getreide	Mais	Kartoffeln & Rüben	Kleegras	Hülsenfrüchte
Fläche HEKTOR	Mio. ha	0,87	1,29	0,23	0,10	0,20	0,04
Fläche Statistik	Mio. ha	0,94	1,34	0,25	0,10	0,27	0,04
Differenz	%	+7,9	+3,7	+8,5	-2,0	+25	-5,0
Insgesamt	%	+7,1					

(Quelle: EUROSTAT 2004 und eigene Berechnungen)

Fast alle Kategorien in HEKTOR unterschätzen die laut Statistik genutzte Fläche. Bei Ackerland beträgt die Differenz gut 7 %. Kleegras überschreitet mit einer Differenz von 70.000 ha den 10 %-Zielkorridor. Insgesamt unterschätzt das Modell die Flächennutzung in Tschechien um ca. 200.000 ha. Ursache dafür dürften vorwiegend die Tierhaltungsprozesse sein. Die anhand von Bedarfs- und Leistungsdaten erstellten Lebensfutterpläne bilden die tatsächlich verbrauchten Futtermengen nicht sehr genau ab. Das Validierungsziel von maximal 10 %

Abweichung wurde für die aggregierten Flächen jedoch erreicht. Bei der eingesetzten Menge an Sojafuttermitteln ergibt sich in HEKTOR sogar nur ein Defizit von 2 %.

Die etwas verzerrte Abbildung der Tierhaltung durch die Prozesse für Tschechien zeigt sich auch im Vergleich der Tierbestände nach HEKTOR und der amtlichen Statistik (Tabelle 25). Die Anpassung des Modells an die Statistik ist für die Rinderhaltung zufrieden stellend, wengleich die Mutterkuhbestände aufgrund der geringen Gesamtzahl erheblich unterschätzt werden. Für Schweine und Legehennen ergeben sich ebenfalls größere Abweichungen, weswegen die Sensitivitätsanalyse in Kapitel 6.2.1.4 darauf genauer eingeht.

Tabelle 25: Vergleich der Anzahl an Nutztieren nach HEKTOR und der amtlichen Statistik für Tschechien (2000)

Bezeichnung	HEKTOR	Statistik	Differenz
	Mio. Stk.	Mio. Stk.	%
Fleischrinder	0,27	0,29	+7
Milchkühe	0,54	0,53	-3
Mutterkühe	0,05	0,07	+30
Schweine	5,5	4,9	-11
Masthühner	144	153	+6
Mastputen	0,82	0,88	+8
Legehennen	9,2	11,9	+30

(Quelle: EUROSTAT 2004 und eigene Berechnungen)

Ergänzend zu der landwirtschaftlichen Flächennutzung folgt die Betrachtung der Flächen-nachfrage außerhalb der Nahrungsmittelproduktion, für Bautätigkeit und Naturschutz.

5.5.3 Außerlandwirtschaftliche Flächennutzung

5.5.3.1 Flächenverbrauch

Die Daten der europäischen amtlichen Statistik zeigen einen langfristig rückläufigen Flächenverbrauch für Siedlung und Verkehr in Tschechien. Zwischen 1995 und 2000 wird sogar eine Flächenfreisetzung angegeben (EUROSTAT 2004). Nach 2000 weist die nationale Statistik die Veränderung der bebauten Fläche mit höchstens 0,6 ha/d aus (CZSO 2004).

Für diesen geringen Verbrauch in der Statistik gibt es verschiedene Erklärungen. Einerseits ist die Güte der statistischen Datenbasis recht gering, zumal keine längeren Zeitreihen verfügbar sind. Bei ähnlicher Fläche und Bevölkerung wurde in Bayern täglich fast die 20-fache Fläche versiegelt. Es ist also fraglich, wie genau die Statistik die Realität abbildet. Andererseits gibt es Gründe, die einen realen Rückgang des Flächenverbrauchs rechtfertigen. So könnte der Trend auf eine Freisetzung bebauter Flächen zurückzuführen sein, die dem wirtschaftlichen Einbruch nach 1990 folgte. Erst nach der Reintegration solcher Industriebrachen wird sich der Flächenverbrauch wieder zu Lasten der landwirtschaftlich genutzten Fläche auswirken. Zudem ist die wirtschaftliche Produktionsleistung in Tschechien viel geringer als in Deutschland. Nach dem Beitritt zur EU ist nun mit einer Steigerung der Produktionsleistung, einem Ausbau der Infrastruktur und damit steigendem Flächenverbrauch zu rechnen.

Aus Mangel an Daten wurden eigene Annahmen zum Flächenverbrauch getroffen. Zunächst wurde der Flächenverbrauch in HEKTOR an das aktuelle Bruttosozialprodukt angelegt. Für Deutschland und Bayern ergibt sich ein Flächenverbrauch von jährlich etwa 0,053 bis

0,057 ha/a pro 1 Mrd. € Bruttoinlandsprodukt (BIP). In Polen beläuft sich der Verbrauch sogar auf 0,123 ha/a pro 1 Mrd. € BIP. Überträgt man dieses Verhältnis auf Tschechien, so erhält man einen Flächenverbrauch von 10,6 ha/d.

Zum Vergleich der Flächenverbrauch pro Bevölkerung: Dieser beläuft sich in Deutschland und Bayern auf 1,4 -1,7 ha/d pro 1 Mio. Einwohner. Überträgt man den polnischen Wert von 0,63 ha/d pro 1 Mio. Einwohner auf Tschechien, so ergibt sich ein Verbrauch von 6,4 ha/d. Im Vergleich zu Bayern mit 21 ha/d ist das sehr gering.

Da der erste Wert eher den historischen Werten von 10-16 ha/d in den 80-er Jahren gleicht, wird er als Basiswert für 2000 festgesetzt und auf Acker und Grünland zu 76 % bzw. 24 % verteilt. In den Szenarien werden dann unterschiedliche Entwicklungspfade für den zukünftigen Flächenverbrauch betrachtet (vgl. Kapitel 6).

5.5.3.2 Flächenansprüche des Naturschutzes

Zunächst wurde die bisherige Entwicklung der Naturschutzflächen anhand der nationalen Statistik analysiert (CZSO 2004). Während die stärker geschützten Nationalparks und Naturschutzgebiete seit 1998 um 1,6 % jährlich ausgedehnt wurden, stagnierten die Landschaftsschutzgebiete. Ein Abgleich mit der *World Database on Protected Areas* zeigt, dass die nationalen Daten in etwa mit der internationalen Klassifikation nach IUCN übereinstimmen (WDPA 2005). Der Schutzgrad ist bereits vergleichsweise hoch (Tabelle 26).

Tabelle 26: Naturschutzflächen in Tschechien (2003)

Schutzgebiet	Fläche [ha]	Anteil an der Landfläche
Nationalparke	119.000	1,5 %
Naturschutzgebiete	93.200	1,2 %
Landschaftsschutzgebiete	1.042.500	13 %

(Quelle: CZSO 2004)

Außerdem ist in Tschechien die Ausweisung von Natura2000-Schutzgebieten bereits weit fortgeschritten. Für Vogelschutz wurden 8,8 % und für Habitatschutz 9,2 % der Landfläche bereit gestellt (EU-Kommission 2005b). Die wenig geschützten Flächen außerhalb der IUCN-Kategorien werden statistisch nicht ausgewiesen bzw. fehlen ganz. Immerhin 550.000 ha Grünland wurden jedoch als halb-natürliches Grasland eingestuft (EEA 2004), dessen Erhaltung je nach Szenario ebenfalls vorgegeben werden kann. Die Betrachtung von Naturschutzflächen erfolgt daher über die Ausweisung von Ausschlussflächen, deren Umsetzungsgeschwindigkeit in den Szenarien variiert wird.

5.6 Modellannahmen für die Flächennutzung in Ungarn

Ungarn als zweitgrößtes EU-Neumitglied war ein weiteres Ziel für die Übertragung des HEKTOR-Modells nach Polen und Tschechien. Als Land mit der relativ größten landwirtschaftlich genutzten Fläche und die daraus folgenden Produktionspotenziale weit über die Eigenversorgung hinaus lassen in Ungarn erhebliche Biomassepotenziale erwarten. Die nachfolgenden Kapitel gehen auf die spezifischen Besonderheiten im HEKTOR für Ungarn ein, der vom Modell für Polen abgeleitet wurde. Die Trendberechnungen greifen auf Daten seit 1970 zurück, die den verschiedenen internationalen Statistiken entnommen sind (ZMP 2003a; EUROSTAT 2004; FAOSTAT 2004; 2005; ZMP 2005a).

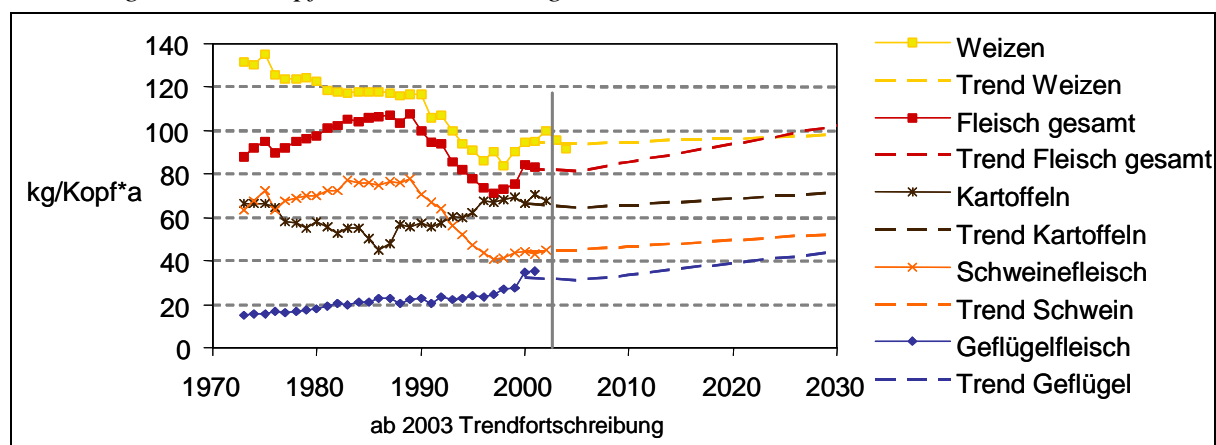
5.6.1 Nahrungsmittelbedarf

In Ungarn soll sich der Bevölkerungsrückgang bereits ab 2010 verstärkt (UN 2004). Bis 2030 wird die Einwohnerzahl auf 9,2 Mio. sinken (vgl. Anhangstabelle 1). Im Pro-Kopf-Verbrauch der verschiedenen Nahrungsmittel ergibt sich für Ungarn ein etwas anderes Bild als für die übrigen betrachteten Länder (Abbildung 36).

Zwar ist auch hier eine Zunahme des Verbrauchs tierischer Lebensmittel in der Ernährung zu beobachten, daneben aber auch bei Getreide. Dies weist auf eine Ausdehnung der Veredelung in Ungarn hin, die den Getreideverbrauch erhöht.

Im Gegensatz zu allen übrigen Ländern war der Kartoffelverbrauch in den letzten Jahren ansteigend. Da dies auf den drastischen Einbruch bei vielen anderen Lebensmitteln zurückzuführen ist – vor allem Fleisch und Getreide, wird zukünftig mit einem weitgehend stagnierenden Kartoffelverbrauch bis 2030 gerechnet.

Abbildung 36: Pro-Kopf-Verbrauch in Ungarn nach 1972 und Trends bis 2030



(Datengrundlage: ZMP 2003a und eigene Berechnungen; Abele et al. 2004; EUROSTAT 2004; FAOSTAT 2004)

Der ungarische Fleischverbrauch war vor dem politischen Umbruch sogar höher als in der EU. Nach 1990 ging er rapide zurück, insbesondere bei Schweinefleisch. In Anlehnung an Abele et al. (2004) rechnet HEKTOR mit steigendem Geflügel- und Schweinefleischverbrauch. Bei Geflügel ist dieser aus dem langjährigen Verbrauch seit den 70-er Jahren berechnet, während der Trend bei Schweinefleisch nur an den Verbrauchsanstieg zwischen 1996 und 2001 angelehnt ist. Der traditionell sehr niedrige Verbrauch von Rindfleisch steigt leicht an.

5.6.2 Annahmen zur Landwirtschaft

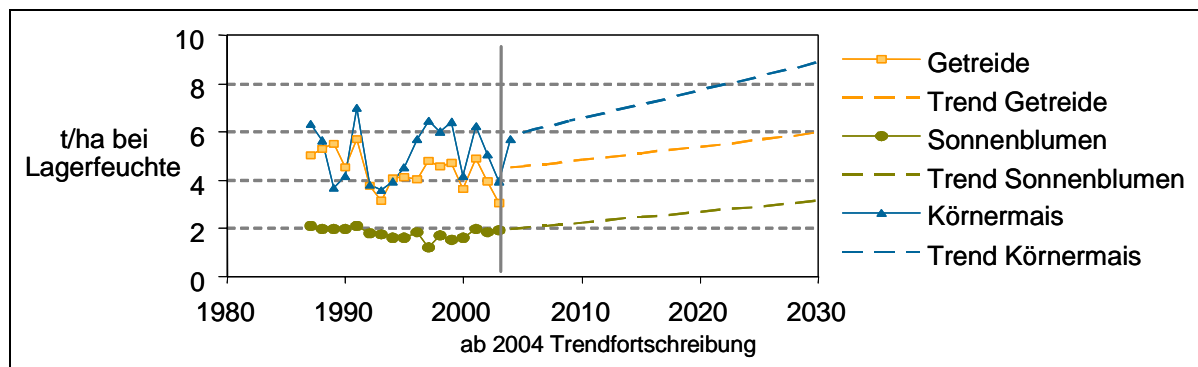
Die Privatisierung der landwirtschaftlichen Flächen in den letzten 10 Jahren führte ähnlich wie in Tschechien zu einer dualen Struktur der Betriebe. Im Jahr 2000 bewirtschafteten 1 % der Betriebe mit durchschnittlich 300 ha etwa 40 % der Flächen. Die übrigen 60 % entfielen auf sehr kleine Betriebe mit durchschnittlich 4 ha (DG AGRI 2002a).

5.6.2.1 Pflanzenbau

Im Pflanzenbau weist Ungarn einige Besonderheiten auf. So hat der Anbau von Körnermais eine größere Bedeutung als Weizen und bei den Ölfrüchten stellten Sonnenblumen die größte

Fläche. Dies ist auf die klimatischen Bedingungen zurückzuführen, da in Ungarn die Verfügbarkeit von Wasser häufig ertragsbegrenzend ist. Darauf weisen auch die stark schwankenden Erträge bei Getreide und insbesondere Körnermais hin (Abbildung 37). Die Berechnung der Ertragstrends folgt linearen Regressionen mit Daten ab 1993, für Grünland mit Daten ab 1997. Die Ertragsdifferenz zum extensiven Produktionsniveau beträgt in Anlehnung an Offermann (2003) 10% (vgl. Kapitel 5.4.2.1, Tabelle 19).

Abbildung 37: Ertragsentwicklung in Ungarn seit 1987 und Trends bis 2030



(Datengrundlage: EUROSTAT 2004; FAOSTAT 2005 und eigene Berechnungen)

Ungarn ist bereits seit langem Nettoexporteur von Agrarprodukten (siehe Kapitel 5.1). Erheblichen Anteil daran hat der Getreidesektor, der bedeutende Anteile der Ernte exportiert. In den vergangenen fünf Jahren lag die Selbstversorgungsquote bei Getreide bei etwa 120 % (EUROSTAT 2004). Der steigende Verbrauch an Lebensmitteln wirkt zwar der Exportsteigerung entgegen, blieb aber bisher dahinter zurück.

Der zunehmende Getreideüberschuss kann wegen der unzulänglichen Infrastruktur über die Intervention schlecht abgedeckt werden, weswegen ungarische Getreideerzeuger zur Zeit nur sehr niedrige Preise erzielen (Popp 2004). Die Prognosen gehen trotzdem von einer Zunahme der Produktion und der Selbstversorgung aus (DG AGRI 2002a; d; 2004b). Ab 2009 wird dem die Stilllegungsverpflichtung entgegenwirken, die für viele kleine Betriebe aber nicht bindend sein wird. Für Ungarn wurde in Anlehnung an DG AGRI (2002a) ein Kleinerzeugeranteil von 30 % angenommen.

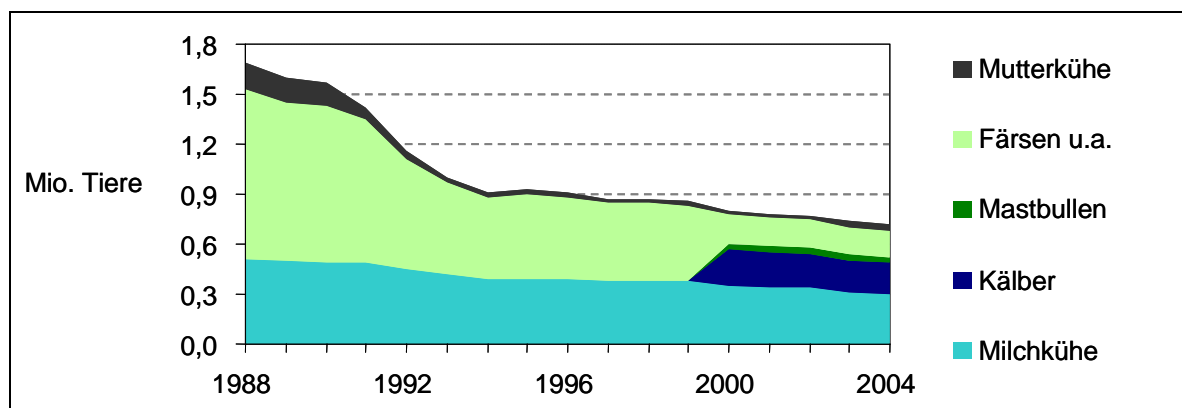
5.6.2.2 Rinderhaltung

Die Rinderhaltung ist für Ungarn von geringerer Bedeutung als für die bisher betrachteten Länder. Im Vergleich zu Tschechien produziert Ungarn ein Viertel weniger Milch und nur die Hälfte an Rindfleisch (EUROSTAT 2004). Ein Grund ist der traditionell niedrige Rindfleischkonsum. Die Milchproduktion zeichnet sich folglich durch hohe Tierleistungen aus, wie sie milchbetonte Rassen liefern.

Da das Produktionsniveau fast mit der zukünftigen Quote übereinstimmt, ist kein zusätzlicher Abbau der Kuhbestände nötig. Sie werden sich zukünftig in Abhängigkeit von der Leistung entwickeln, die bis 2030 auf 8200 l/Kuh*a ansteigt, bei ökologischen Milchkühen um 10% weniger, auf 7400 l/Kuh*a (vgl. Offermann 2003). Die ungarischen Milchprozesse basieren auf statistischen Daten, gekoppelt mit Daten des IFCN (ZMP 2003a; EUROSTAT 2004; FAOSTAT 2005; Beef Report und Dairy Report, IFCN verschiedene Jahrgänge-b). Die Lebensfutterpläne wurden anhand der Bedarfsangaben nach Kirchgeßner (2004) angepasst.

Seit 1990 ist Rindfleisch ein reines Nebenprodukt der Milchproduktion. Zuvor waren ein Viertel des Kuhbestands Mutterkühe, die jedoch wie die übrigen Mastrinder nach 1990 auf ein Minimum reduziert wurden. Innerhalb von fünf Jahren brach der gesamte Rinderbestand auf fast die Hälfte ein (Abbildung 38).

Abbildung 38: Entwicklung der Rinderbestände in Ungarn ab 1988



(Datengrundlage: EUROSTAT 2004)

In der Rindfleischproduktion geht ein hoher Getreideanteil in die Fütterung ein. Die Daten zur Produktion stammen aus Berichten des IFCN-Networks (IFCN verschiedene Jahrgänge-b). Die Fütterungseffizienz wird für 2000 gegenüber Deutschland um 20 % verringert, verbessert sich aber innerhalb von fünf Jahren um je 1,5 %. Die Struktur der Rinderhaltung reflektiert die untergeordnete Bedeutung von Rindfleisch für Produktion und Ernährung. Zwar ist zukünftig kein erheblicher Zuwachs in der Produktion zu erwarten, der Inlandsverbrauch wird aber mittelfristig zur deren Stabilität beitragen (DG AGRI 2004b).

Grünland

In Ungarn belegt die Schafhaltung neben der Rinderhaltung einen großen Teil des Grünlands und nimmt derzeit nach einem Einbruch nach 1990 wieder zu. Es ist zu erwarten, dass ein Teil der aus der Rinderhaltung ausscheidenden Flächen zukünftig durch Schafhaltung genutzt werden. Daher werden für Ungarn zusätzliche Berechnungen für die Flächennachfrage durch Schafe erstellt.

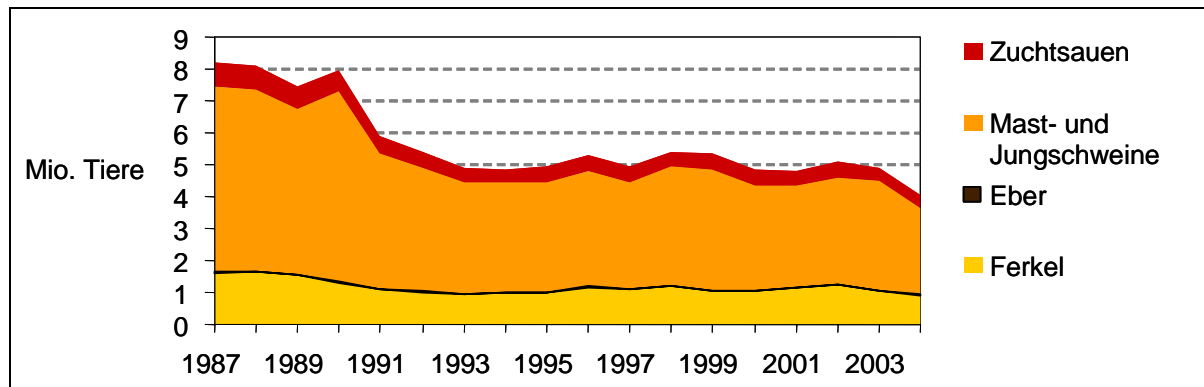
Die Europäische Kommission erwartet in den 10 neuen Mitgliedsstaaten insgesamt einen stabilen Verbrauch und eine leicht sinkende Produktion von Schaffleisch (DG AGRI 2004b). Im Modell erreichen die Schafbestände in Ungarn höchstens das Niveau vor 1990. Für 2005 werden Flächen auf Basis der Durchschnittsbestände von 2000 bis 2004 und ab 2010 auf dem Durchschnitt von 1987 bis 1993 festgelegt. Dies gewährleistet gleichzeitig den Erhalt extensiven Grünlands, dem ein besonderer Wert bezüglich der Biodiversität zugeschrieben wird.

5.6.2.3 Schweine- und Geflügelhaltung

Schweinefleisch ist der wertmäßig wichtigste Produktionssektor in Ungarn, gefolgt von Geflügelfleisch (DG AGRI 2002a). In HEKTOR für Ungarn bindet Schweinefleisch mehr Fläche als Rind- und Geflügelfleisch zusammen. Auch hier brachen die Mastbestände nach 1990 stark ein (vgl. Abbildung 39). Dem folgte der Schweinefleischverbrauch, der sich erst Ende der 90-er Jahre wieder stabilisierte.

Die ungarische Schweineproduktion profitiert von der hohen Getreideproduktion durch günstige Futtermittelpreise. Daher geht in die Futterpläne ein sehr hoher Getreideanteil ein. Gegenüber Deutschland wird eine um 15 % geringere Futtermittelerzeugung angenommen, die sich zukünftig alle fünf Jahre um 1,5 % verbessert. Hohe Getreideüberschüsse bieten günstige Voraussetzungen für eine Ausdehnung der Schweinemast.

Abbildung 39: Entwicklung der Schweinebestände in Ungarn nach 1987



(Datengrundlage: EUROSTAT 2004)

Die notwendigen Investitionen vorausgesetzt, bieten sich für Ungarn nach dem EU-Beitritt sehr gute Exportchancen für Schweinefleisch. Die steigende Inlandsnachfrage gibt ebenfalls Anreize für die Produktion. Ähnliches gilt für die Geflügelfleischproduktion. Die aktuelle Produktionsausdehnung wird vor allem durch die steigende Exportmöglichkeiten angefangen (DG AGRI 2004b).

Die Prozesse für Geflügelfleisch und Legehennen bleiben einschließlich der reduzierten Futtermittelerzeugung unverändert gegenüber Polen (vgl. Kapitel 5.4.2.3). Einzig die Legeleistung wird auf 205 Eier pro Tier und Jahr im konventionellen Prozess und 144 Eiern pro Tier und Jahr bei Freilandhaltung abgeändert (FAOSTAT 2005).

5.6.2.4 Validierung der Flächen und Tierbestände

In Tabelle 27 sind die Flächenergebnisse aus HEKTOR der Flächennutzung in der Statistik gegenübergestellt.

Tabelle 27: Vergleich der landwirtschaftlichen Flächennutzung nach HEKTOR und der europäischen Statistik für Ungarn (2000)

Bezeichnung	Einheit	Grünland	Getreide	Silomais	Kartoffeln & Rüben	Klee gras	Hülsenfrüchte
Fläche HEKTOR	Mio. ha	1,08	2,35	0,14	0,01	0,18	0,03
Fläche Statistik	Mio. ha	1,15	2,49	0,15	0,01	0,21	0,03
Differenz	%	+6,2	+5,5	+7,4	-3,7	+17	-4,5
Insgesamt	%	+6,1					

(Quelle: EUROSTAT 2004 und eigene Berechnungen)

Sowohl Acker- als auch Grünland werden von HEKTOR gut abgebildet. Die Abweichung beträgt 70.000 ha bzw. 200.000 ha. Die Sojamenge in HEKTOR und die importierte Menge unterscheiden sich um weniger als 4 %. Die wichtigsten Tierbestände werden gut abgebildet (vgl. Tabelle 28). Bei Mutterkühen und Legehennen zeigt sich für Ungarn die bereits

bekannte hohe Differenz zwischen Beständen in Statistik und Modell, letztere geht zum Teil auf die geringe Gesamtzahl zurück.

Tabelle 28: Vergleich der Anzahl an Nutztieren nach HEKTOR und der amtlichen Statistik für Ungarn (2000)

Bezeichnung	HEKTOR	Statistik	Differenz
	Mio. Stk.	Mio. Stk.	%
Fleischrinder	0,12	0,14	+4
Milchkühe	0,38	0,36	-5
Mutterkühe	0,01	0,03	+87
Schweine	6,2	6,4	+1
Masthühner	140	132	-5
Mastputen	17	18	+2
Legehennen	12	14	+24

(Quelle: EUROSTAT 2004 und eigene Berechnungen)

Dies schließt die Betrachtung der landwirtschaftlichen Flächennutzung in Ungarn ab, die durch das Modell HEKTOR im Rahmen der vorgegebenen Abweichungstoleranz abgebildet wird. Ergänzt wird dies noch durch die Betrachtung der Flächen für Bautätigkeit und Naturschutz im folgenden Kapitel.

5.6.3 Außerlandwirtschaftliche Flächennutzung

5.6.3.1 Flächenverbrauch

Für den Flächenverbrauch in Ungarn liegen keine statistischen Daten vor, auf denen Trendberechnungen basieren könnten. Weder sind alle Siedlungs- und Verkehrsflächen erfasst noch bestehen Zeitreihen, die die Entwicklung abbilden. Einzig verfügbare Information ist der Verlust von etwa 600.000 ha durch Bautätigkeit und Bergbau zwischen 1945 und 1990 (UNCCD 2000). Dies entspräche einem Wert von 37 ha/d.

Bezüglich der Daten bestehen also erhebliche Unsicherheiten, weswegen eigene Annahmen getroffen wurden. Abgeleitet vom polnischen Flächenverbrauch von 0,123 ha/a pro 1 Mrd. € BIP ergeben sich für Ungarn 9,8 ha/d, die täglich für Siedlung und Verkehr verbraucht werden. Der Vergleichswert in Abhängigkeit von der Bevölkerung ergibt für Ungarn 6,4 ha/d. Da für den Gesamtflächenverlust keine Vergleichszahl aus den übrigen Ländern verfügbar ist, wird in HEKTOR der zukünftige Flächenverbrauch wie für Tschechien vom BIP abgeleitet und für 2000 auf 9,8 ha/d angesetzt. Diese werden auf Acker und Grünland verteilt, entsprechend der aktuellen Flächenanteile. Die Weiterentwicklung diese Flächennachfrage wird aufgrund der Unsicherheit erst in den Szenarien bestimmt.

5.6.3.2 Flächenansprüche des Naturschutzes

Die bisherige Ausweisung von Naturschutzflächen in Ungarn anhand der *Database on Protected Areas* (WDPA 2005) zeigt Tabelle 26. Die Fläche der ausgewiesenen Nationalparks stagniert bereits seit längerer Zeit. Die geschützte Fläche mit geringerem Schutzgrad ist dagegen bereits extrem hoch und steigt weiter an. Kritisch ist dabei der tatsächlich erzielte Schutzwert zu sehen, der auf einem derart hohen Flächenanteil fraglich scheint.

Tabelle 29: Naturschutzflächen in Ungarn (2003)

Schutzgebiet	IUCN-Kategorie	Fläche [ha]	Anteil an der Landfläche
Nationalparke	II	224.009	2,4 %
Naturschutzgebiete	IIIV	6.529.600	71 %
Landschaftsschutzgebiete	V	578.500	6,4 %
Sonstige geschützte Fläche	-	9.329	0 %

(Quelle: WDPA 2005)

Die Anforderungen an Natura2000-Schutzgebieten werden bereits weitgehend erfüllt. Mit der Ausweisung von 14 % der Landfläche als Vogelschutzgebiet und 12,2 % für Habitatschutz liegt Ungarn weit über dem europäischen Durchschnitt (EU-Kommission 2005b). Demgegenüber können kaum weitere Flächen eingefordert werden. Selbst wenn nur ein Bruchteil der Naturschutzgebiete für Biotopvernetzung angerechnet wird, ist die für Deutschland geltende Forderung von 10 % Landfläche bereits übererfüllt. Eine weitere Ausweisung von Naturschutzflächen kann jedoch in den Szenarien umgesetzt werden. Der Anteil an HNV-Landwirtschaft ist in Ungarn bisher nicht genau eingegrenzt. Allerdings gelten 960.000 ha Grünland als halb-natürlich (EEA 2004), dessen Erhaltung aus Naturschutzsicht wünschenswert ist und die je nach Szenario ebenfalls vorgegeben werden kann. Für die Ackerfläche wird angenommen, dass mindestens der durchschnittliche Anteil der EU-15 von 15-25 % Flächen für HNV-Landwirtschaft angerechnet werden kann.

5.7 Modellannahmen für die Berechnung der Primärenergiepotenziale

Die Flächennutzung liefert den Rahmen für die Berechnung der Biomassepotenziale, die zukünftig für die Energieerzeugung zur Verfügung stehen. Für die resultierenden Energiepotenziale sind die möglichen Umwandlungswege entscheidend. Diese sollen noch offen bleiben, weswegen die Primärenergiepotenziale wenig verarbeiteter Biomasse betrachtet werden. Eine Ausnahme stellen feuchte Biomassen dar, bei welchen bereits die Konversion zu Biogas im Potenzial bereits berücksichtigt wird (vgl. dazu Kapitel 2.3.2). Die Energiepotenziale werden getrennt nach Reststoffarten und Anbaubiomasse betrachtet, da bei Energiepflanzen die Art der produzierten Biomasse frei wählbar ist. Der Aufwuchs von freiwerdenden Grünflächen stellt einen Grenzfall dar. Zwar ist die Art der erntbaren Biomasse als Grünschnitt festgelegt, dieser wird aber unter dem Anbaupotenzial berücksichtigt, da er aus dem Flächenpotenzial resultiert und speziell für die Energieerzeugung geerntet werden muss.

5.7.1 Landwirtschaftliche Reststoffpotenziale

Bei Reststoffen müssen bereits bestehende Nutzungsoptionen berücksichtigt werden, die mit der energetischen Nutzung konkurrieren. Grundsätzlich gilt eine stoffliche Verwertung als höherwertig und ist damit vorzuziehen, zumal diese Stoffe über die Nutzungskaskade oft noch in eine energetische Verwertung münden.

Im Hinblick auf die unterschiedliche Verwertung sind in HEKTOR die Reststoffe in Kategorien unterteilt, die sich sowohl auf die Herkunft als auch auf die Beschaffenheit beziehen. Die in der Tierhaltung anfallenden Exkremte werden der feuchten Biomasse zugerechnet, die

generell in die Biogaserzeugung eingeht. Aus der Pflanzenproduktion resultieren feuchte und trockene Reststoffe.

5.7.1.1 Reststoffpotenziale aus der Tierhaltung

Innerhalb von HEKTOR übernimmt die Modelldatei AUGIAS automatisch die Vorgaben der Nahrungsmittelproduktion für die Nutztierbestände und die dabei angenommenen Produktionsprozesse. Letztere beeinflussen das Exkrementpotenzial über das Mistsystem und die Haltungsform, da aus technischen Gründen Exkreme aus Freilandhaltung nicht für eine Vergärung genutzt werden.

Für die Energieerzeugung kommen daher nur Exkreme aus Stallhaltung in Frage, also von Rindern, Schweinen, Masthühnern und Mastputen sowie einem Teil der Legehennen. Nicht berücksichtigt werden Exkreme von Schafen, bei welchen Weidehaltung dominiert. Aufgrund der Freilandhaltung und der relativ geringen Gesamtbestände werden auch die Exkreme von Pferden, Ziegen, Enten und Gänsen vernachlässigt.

Die Verwertung von Exkrementen aus sehr kleinen Tierbeständen unterliegt technischen Restriktionen. Zwar können kleinere Betriebe Biogas in Gemeinschaftsanlagen erzeugen, die Exkreme zu erfassen macht jedoch erst ab einer gewissen Bestandsgröße Sinn. In Anlehnung an Wilfert et al. (2002) werden daher Rinderbestände erst ab 20 Tieren, Schweinebestände ab 100 Tieren und Geflügelbestände ab 1000 bzw. 3000 Tieren berücksichtigt. Die Durchschnittsbestände wurden in der Vergangenheit stetig größer. Mit fortgesetztem Strukturwandel steigt der Anteil an großen Beständen, die den technischen Voraussetzungen für die Biogaserzeugung genügen.

Die Bestandsstruktur unterscheidet sich in den einzelnen Regionen und Ländern. Tabelle 30 zeigt die berücksichtigten Anteile der wichtigsten Bestände, die in den verschiedenen Regionen in die Potenzialermittlung eingehen.

Tabelle 30: Anteil der berücksichtigten Bestände in den verschiedenen Ländern

Land	Tierart	2000-2005	2030
Deutschland	Rinder	96 %	99 %
	Schweine	95 %	99 %
	Legehennen	95 %	99 %
Bayern	Rinder	95 %	98 %
	Schweine	90 %	98 %
	Legehennen	74 %	89 %
Polen	Rinder	35 %	75 %
	Schweine	35 %	80 %
	Legehennen	10 %	50 %
Tschechien	Rinder	96 %	99 %
	Schweine	83 %	95 %
	Legehennen	96 %	98 %
Ungarn	Rinder	73 %	90 %
	Schweine	54 %	85 %
	Legehennen	46 %	70 %

(Quelle: BMVEL 2004; EUROSTAT 2004; Polnisches Landwirtschaftsministerium 2004; StMLF 2004, nach 2005 eigene Annahmen)

Für Deutschland und Bayern liegen Zeitreihen über die Größenentwicklung der Bestände vor, aus denen der Trend abgeleitet wird. Für Polen, Tschechien und Ungarn ist nur die Bestandsstruktur von 2003 bekannt (EUROSTAT 2004). Aus diesen Punktdaten werden für jedes Land Annahmen darüber getroffen, welcher Anteil am Gesamtbestand in die Potenzialermittlung eingeht. In Polen sind die Tierbestände bisher besonders klein. Der Strukturwandel und die Intensivierung werden zwar auch hier zu größeren Beständen führen, dies kann aber eine geraume Zeit dauern. Daher wird nur ein Bruchteil der Exkreme als technisches Biomassepotenzial angerechnet.

Für Deutschland übertreffen bereits heute die meisten Bestände die vorgegebene Mindestgröße für die Biogaserzeugung. Dagegen erhält die Abgrenzung kleiner Bestände in Bayern und in den neuen EU-Mitgliedsstaaten eine wesentlich größere Bedeutung, wo noch kleinere Strukturen vorliegen. Bis 2030 werden aber die meisten Bestände in die Potenzialermittlung einbezogen. Bei Mastgeflügel ist der Strukturwandel in fast allen betrachteten Ländern soweit vollzogen, dass der gesamte Bestand berücksichtigt wird.

Berechnung des Exkrement- und Biogasaufkommens

Die Berechnung des Exkrementanfalls pro Tier basiert auf GEMIS-Daten (Öko-Institut 2005). Die GEMIS-Prozesse erfassen das Exkrementaufkommen eines Tieres über dessen gesamte Lebenszeit bis zur Schlachtung inklusive der benötigten Einstreu und der anfallenden Futterreste. Analog zu den Lebensfutterplänen wurden daraus Exkrementpläne erstellt, die das Gülle- und Mistaufkommen für die benötigten Muttertiere beinhalten.

Die Exkrementaufkommen der unterschiedlichen Produktionsverfahren für die Gesamtlebenszeit sind in Tabelle 31 exemplarisch für Deutschland aufgeführt. Die Exkrementpläne für die übrigen Länder wurden proportional zur Lebenszeit der Tiere modifiziert.

Tabelle 31: Exkrementaufkommen nach Tierarten und Produktionsprozessen für Rinder, Schweine und Geflügel in Deutschland

Tierart	Einheit	Produktionsprozess			
		konventionell Gülle/Stall	konventionell Gülle/Weide	Konventionell Mist/Weide	ökologisch Mist/Weide
Kühe					
Gülle	t/Tier*a	86,8	56,8	-	-
Festmist	t/Tier*a	1,28	1,28	35,1	38,9
Mastrinder		konventionell Gülle	ökologisch Mist/Weide	extensiv Mist/Weide	
Gülle	t/Tier*a	10,3	-	-	
Festmist	t/Tier*a	1,28	6,93	8,04	
Schweine		intensiv Gülle	konventionell Gülle	konventionell Mist	ökologisch Mist
Gülle	t/Tier*a	0,79	0,83	-	-
Festmist	t/Tier*a	-	-	0,65	0,68
Geflügel		Masthühner	Mastputen	Legehennen Gülle	Legehennen Boden/Freiland
Gülle	kg/Tier*a	-	-	130	-
Festmist	kg/Tier*a	1,80	15,3	-	42/38

(Quelle: Menzi et al. 1997; KTBL 2000; Döhler et al. 2002; Öko-Institut 2005)

Die Prozesse sind typisch für unterschiedliche Haltungssysteme mit Gülle oder Festmist, Fütterungsintensitäten und den Leistungsunterschied zwischen konventionellem und ökologischem Landbau. Diese Unterschiede führen zu unterschiedlichen Exkrementaufkommen pro Tier. Bei Rindern spielt außerdem der Weidegang eine erhebliche Rolle.

Für Deutschland liegen Daten zur Freilandhaltung bei Rindern aus dem Ammoniak-Emissionsinventar vor (Döhler et al. 2002). Daran werden die übrigen Modelle angelehnt. Bei Geflügel liegt nur für Masthühner ein GEMIS-Prozess vor. Der Exkrementanfall von Legehennen und Truthühnern wurde aus Daten des Instituts für Energetik und Umwelt (IE) abgeleitet und mit Daten des KTBL abgeglichen (KTBL 2000; Wilfert et al. 2002).

Um die gesamten verfügbaren Exkremente zu berechnen, werden die Exkremente pro Tier mit den Tierzahlen multipliziert, die HEKTOR für die verschiedenen Stützzeitpunkte ausgibt. Dort wird die Zahl der gehaltenen Tiere über den Zwischenschritt der verbrauchten Fleischmenge berechnet. Diese Tierbestände sind anhand der amtlichen Statistik validiert. Daher können sie direkt für die Erhebung der Exkrementpotenziale übernommen werden.

Rinder- und Schweinegülle sind die Grundsubstrate für viele landwirtschaftliche Biogasanlagen. Die Vergärung selbst führt zu einer Reihe von Vorteilen, wie eine bessere Pflanzenverträglichkeit, geringere Geruchsbelastung und das Abtöten der in der Gülle enthaltenen Keime und Unkrautsamen (Hartmann 1995). Außerdem kann die Vergärung von Gülle zu einer Verringerung der Methanemissionen führen (Edelmann 2001).

Auch Festmist eignet sich zur Vergärung, muss aber seiner höheren Trockensubstanz (TS) zunächst mit Wasser versetzt werden. Batch-Verfahren zur Trockenvergärung sind noch im Versuchsstadium und werden aber für kommerzielle Biogasanlagen in der Landwirtschaft noch nicht eingesetzt (FNR 2004). Derzeit verwenden etwa 40% der Biogasanlagen Rinderfestmist zur Biogaserzeugung, während Geflügelmist eine untergeordnete Rolle spielt (Wilfert et al. 2002).

Je nach Tierart variieren die Biogaserträge aus den Exkrementen. Rinder als Wiederkäuer entziehen dem Futter mehr Energie als Monogastrier. Daher ist die Biogausbeute aus Rindergülle am geringsten, aus Geflügelkot am höchsten (vgl. Tabelle 32).

Tabelle 32: Biogausbeuten für Exkremente

Tierart		Biogausbeute	
		m ³ /t bei Gülle	m ³ /t bei Festmist
Rinder	Milchkühe	14,1	42,5
	Kälber	9,3	
	Sonstige Rinder	34,4	
Schwein		25,9	60,0
Geflügel		66,5	153,3

(Quelle: Wilfert et al. 2002; AID 2003)

Biogas aus unterschiedlichen Substraten und Anlagen kann in der Zusammensetzung variieren. Für die Potenzialabschätzung wurde ein Mittelwert von 19,8 MJ/m³ Biogas angesetzt (AID 2003).

Validierung der Biogaspotenziale aus Exkrementen für Deutschland

Stellvertretend für alle Länder wurde die Abbildungsgenauigkeit der Exkrementpotenziale aus AUGIAS für Deutschland untersucht. Anhand der beschriebenen Daten und der Tierzahlen aus HEKTOR wurde das Biogaspotenzial aus Gülle und Mist für das Jahr 2000 berechnet. Die Biogaspotenziale der verschiedenen Tierarten und Exkrementformen zeigt Tabelle 33. Die Rinderhaltung hat dabei mit über 68 % den größten Anteil am Gesamtpotenzial, während Hühnermist nur 12 % zum Potenzial beiträgt.

Tabelle 33: Biogaspotenziale nach HEKTOR für Deutschland (2000)

Tierart	Mio. m ³ Biogas		Anteil am gesamten Biogaspotenzial
	aus Gülle	aus Festmist	
Rinder (>20 Tiere)	2.514	742	68 %
Schweine (>100 Tiere)	703	234	20 %
Geflügel (>1000/3000 Tiere)	338	225	12 %
Summe	4.755		100 %

(Quelle: eigene Berechnungen)

Diese Ergebnisse wurden zur Validierung mit Berechnungen des Instituts für Energetik und Umwelt (IE) (vgl. Wilfert et al. 2002). Darin wurden Biogaspotenziale anhand der Tierbestände der Agrarstatistik für 1999 bis 2001 ermittelt. Den Vergleich zeigt Tabelle 34.

Tabelle 34: Abweichung der Biogaspotenziale nach AUGIAS gegenüber IE

IE Mittelwert 1999-2001 entspricht 100%	Biogas aus Rinderhaltung	Biogas aus Schweinehaltung	Biogas aus Geflügelhaltung	Biogas gesamt
IE für 2002	0 %	-1 %	+4 %	0 %
AUGIAS 2000	+4 %	-8 %	+64 %	+6 %

(Quelle: Wilfert et al. 2002 und eigene Berechnungen)

Die Mittelwerte der Potenziale nach IE für die Jahre 1999-2001 entsprechen 100%. Der Vergleich mit Einzelwerten für das Jahr 2001 zeigt die Schwankung innerhalb dieser Berechnungsmethode. In der dritten Zeile der Tabelle werden die Berechnungen nach AUGIAS für 2000 verglichen. Die größeren Schwankungen für einzelne Tierarten gleichen sich beim Gesamtpotenzial wieder aus.

Das geringfügig höhere Potenzial aus der Rinderhaltung in AUGIAS resultiert aus den Unterschieden im Weidegang. Dieser wird in HEKTOR nach Döhler et al. (2002) abgeschätzt und liegt etwas niedriger als bei Wilfert et al. (2002). Die Abweichung für Schweinehaltung resultiert aus einem geringeren Festmistanfall nach GEMIS im Vergleich zu Wilfert et al. (2002). Die GEMIS-Werte werden allerdings durch Daten des KTBL zum Mistanfall bei Schweinen bestätigt und daher beibehalten (KTBL 2000).

Das höhere Potenzial bei Geflügel ist zum Teil in der Überschätzung der Legehennenbestände in HEKTOR begründet. In AUGIAS wird auch Mist aus den Legeställen in der Freilandhaltung berücksichtigt. Zudem wurde die Biogasausbeute aus Geflügelgülle aktualisiert. Geflügelkot leistet aber nur einen geringen Anteil am Gesamtpotenzial, dessen Abweichung insgesamt kleiner als 6 % ist.

5.7.1.2 Erntereste aus dem Pflanzenbau

Die in der Pflanzenproduktion als Nebenprodukt oder Abfallstoff anfallende Biomasse wird nur teilweise als Futtermittel oder zur Gründüngung genutzt. Ein großer Anteil steht daher für die Energiegewinnung zur Verfügung. Den größten Beitrag zum Reststoffpotenzial liefert generell das Stroh von Körnerfrüchten.

Potenziale aus Getreidestroh

Für die Ermittlung der Strohpotenziale wurde kein eigenes Modell erstellt, sondern das Modell PROMETHEUS übernommen, das als eigenständiger Projektteil innerhalb der *Stoffstromanalyse zur nachhaltigen energetischen Nutzung von Biomasse* entwickelt wurde (Fritsche et al. 2004a). Im Folgenden werden die Bestimmungsfaktoren für das Strohaufkommen vorgestellt, die weitgehend durch die Annahmen zu Nahrungsmittelproduktion und Pflanzenbau in HEKTOR vorgegeben sind (vgl. Kapitel 5.2 bis 5.6).

PROMETHEUS übernimmt Anbauflächen und Erträge von Getreide aus HEKTOR. Darauf setzen Stroh-zu-Korn-Verhältnisse auf, die über die Zeit fortgeschrieben werden. In der Vergangenheit verschob sich das Verhältnis zwischen Haupt- und Nebenprodukt stetig zum Kornertrag. Da die Züchtung bei Getreide auf steigende Kornerträge bei gleichzeitig verbesserter Standfestigkeit abzielt, wurden immer kurzstrohigere Sorten und Halmverkürzer eingesetzt, was den Strohertrag begrenzt. Für den konventionellen Landbau wird dieser Trend auch zukünftig fortgeschrieben, wobei sich das Verhältnis moderat verändert.

Beim ökologischen Landbau werden keine Halmverkürzer eingesetzt, weswegen vergleichsweise mehr Stroh erzeugt wird. Zudem wird in der ökologischen Tierhaltung mehr Stroh als Einstreu eingesetzt. Daher bleibt das Stroh-zu-Korn-Verhältnis im ökologischen Landbau über den gesamten Zeitraum konstant. Tabelle 35 zeigt die verschiedenen Annahmen für den Start- und den Endzeitpunkt des Modells im konventionellen und ökologischen Landbau.

Tabelle 35: Annahmen zu Stroh-zu-Korn-Verhältnissen für PROMETHEUS

Verhältnis Stroh-zu-Korn	2000		2030	
	Konv. Landbau	Ökol. Landbau	Konv. Landbau	Ökol. Landbau
Weizen	0,80	1,00	0,65	1,00
Roggen	0,90	1,40	0,75	1,40
sonstiges Getreide	0,80	1,00	0,65	1,00

(Quelle: Fritsche et al. 2004a)

Vom ermittelten Strohanfall wird zunächst die stoffliche Nutzung, der Einstreubedarf für Nutztiere abgedeckt, den HEKTOR an PROMETHEUS weiter gibt und der durch die Annahmen zur Tierhaltung in Kapitel 5.2 bis 5.5 bestimmt ist. Diese können in den Szenarien variieren. Das Einstreustroh ist für die energetische Nutzung nicht verloren, da es in der Nutzungskaskade in das Biogaspotenzial aus Mist und Gülle eingeht.

Ganz aus der energetischen Nutzung scheidet aber Stroh aus, das im Pflanzenbau als Dünger eingesetzt wird. Durch die Düngung mit Stroh fließen einerseits die darin enthaltenen Nährstoffe zurück, andererseits wird dem Boden organische Substanz zugeführt, die für die Bodenfruchtbarkeit wichtig ist.

Diese Rückführung kann auch nach einer Vergärung von Stroh zu Biogas noch angerechnet werden. In Versuchen zeigte sich, dass bei der Vergärung vorwiegend die leicht zersetzbaren

Kohlenstoffe in der Gülle in Biogas umgewandelt werden. Die für die Humusbildung wichtigen Lignine und Hemizellulosen können dagegen nicht abgebaut werden, weswegen die Wirkung als Bodendünger weitgehend erhalten bleibt (Möller 2003b). Nach Möller (2003a) können diese Ergebnisse auch auf Festmist übertragen werden.

In PROMETHEUS wird das Stroh in der Einstreu für die Düngung angerechnet. Je mehr Einstreustroh ausgebracht wird, umso mehr Stroh kann für eine energetische Nutzung abgeführt werden, ohne die Humusdüngung zu beeinträchtigen. Festmist wird je nach Aufstallungsart (z. B. in Tieflaufställen) erhebliche Zeit gelagert, bevor er energetisch oder zur Düngung verwertet wird. Daher wird für Festmist ein Rotteverlust von 30 % angenommen.

Das verbleibende Stroh steht weitgehend für die Energieerzeugung zur Verfügung. Allerdings unterliegt es durch räumliche und zeitliche Verteilung gewissen Nutzungseinschränkungen. Daher wird ein Mobilisierungsfaktor von 90 % angesetzt, der diesen Verlusten Rechnung trägt (Fritsche et al. 2004a). Die beschriebenen Annahmen bleiben über die Szenarien weitgehend konstant. Nur die Rückführungsquote für Stroh ist szenariorelevant.

EXKURS 1: Potenziale aus Rapstroh in Deutschland

Generell wird im HEKTOR der Anfall an Ölsaatenstroh außerhalb des Energiepflanzenanbaus nicht als Potenzial betrachtet, da die technischen Probleme bei der Gewinnung und Verwertung derzeit noch keine energetische Nutzung im großen Umfang zulassen (vgl. Kapitel 2.3.2). Vielmehr wird dieses Stroh zur Bodendüngung angerechnet. Allerdings wurden in Deutschland in den letzten Jahren zwischen 600.000 ha und 700.000 ha Raps (ohne NawaRaps) für Nahrungs- und Futtermittel angebaut (BMVEL 2003). Da hier erhebliche Mengen an Biomasse in Form von Rapsstroh anfallen, wird beispielhaft für Deutschland das Potenzial berechnet. Rapsstroh aus dem Energiepflanzenanbau wird an dieser Stelle nicht berücksichtigt, da dieser im Rahmen der Anbaupotenziale als Ganzpflanzennutzung von Raps geschieht.

In HEKTOR werden die Flächen für den Anbau von Handelsgewächsen ohne nachwachsende Rohstoffe konstant bis 2030 weitergeführt. In Deutschland wird dabei eine Fläche von 670.000 ha für den Rapsanbau vorgehalten, auf der Rapsstroh als Reststoff anfällt. Derzeit beträgt das Stroh-zu-Korn-Verhältnis etwa 1,7. Aufgrund der Strohbeschaffenheit fallen bei der Aufnahme bis zu 50 % Bröckelverluste an. Bei einer Feuchte von 14 % kann mit einem Heizwert von 14,7 MJ/kg gerechnet werden (Hartmann et al. 2002).

Fraglich ist, welcher Anteil des Strohs für die Nährstoff- und Humusrücklieferung auf der Fläche verbleiben muss. Wird in der Fruchtfolge gleichzeitig der Strohanfall bei Getreide energetisch genutzt, so muss auch beim Rapsanbau selbst auf einen Humusausgleich geachtet werden. Zur Vereinfachung werden die Restriktionen für Getreidestroh übernommen. Die Bröckelverluste von 50 % werden angerechnet, da sie auf dem Feld verbleiben. Über den gesamten Betrachtungszeitraum erhöht sich das Reststoffpotenzial in Deutschland durch die Einbeziehung von Rapsstroh um knapp 12 PJ/a.

EXKURS 2: Potenziale aus Körnermaisstroh in Ungarn

In den betrachteten Ländern überwiegt Silomaisanbau, weswegen Maisstroh in der Potenzialermittlung prinzipiell vernachlässigt wird. In Ungarn besitzt Körnermais anbau eine sehr große Bedeutung und liefert erhebliche Mengen an ungenutztem Stroh. Daher werden in Ungarn exemplarisch die Maisstrohpotenziale erhoben und im Modell bis 2030 mitgeführt. Die

Berechnungsbasis ist die durchschnittliche Anbaufläche von 2000 bis 2005 von knapp 1,2 Mio. ha. Pro t Körnermais fallen 1,5 t Stroh an, das mit einer TS von nur 50 % sehr feucht ist. Trockenes Maisstroh besitzt einen Heizwert von 17,7 MJ/kg (Hartmann et al. 2002). Wie bei Getreide kann nur ein Teil des Strohs vom Feld abgefahren werden. In Ungarn besteht damit zu jedem Stützzeitpunkt ein zusätzliches Biomassepotenzial von mehr als 13 PJ/a.

Potenziale aus Zuckerrübenblatt und Kartoffelkraut

Besonders wasserhaltige und daher für die Biogasanlage geeignete Reststoffe sind Rübenblatt und Kartoffelkraut. Futterrüben spielen in der Tierernährung nur noch eine geringe Rolle, weswegen Fütterrübenblatt als Substrat vernachlässigt werden kann. Die Zuckerrübenblätter werden nur noch zum Teil siliert und in der Rinderfütterung genutzt. Der Rest wird als Gründünger eingearbeitet.

Folglich können etwa 25 - 50 % des Rübenblattaufkommens als Substrat für die Biogaserzeugung genutzt werden. Bei der Ernte fallen Rübe und Blatt in einem Massenverhältnis von 1:0,8 an. Die Blattmasse enthält ca. 10 % organische Trockensubstanz (oTS). Dies ergibt einen Blattertrag von 4,7 t/ha oTS. Der spezifische Gasertrag von Rübenblatt beträgt 0,61 m³/kg oTS (Keymer 2004).

Kartoffelkraut verbleibt momentan vollständig auf dem Feld. Da keine Nutzungskonkurrenz besteht, kann ein Anteil von 33 -66 % des Stoffaufkommens für die Kofermentgewinnung angerechnet werden. Auch Kartoffelkraut weist bei 20 % oTS einen recht hohen Wasseranteil auf. Im Gegensatz zu Rübenblatt ist der Ertrag jedoch deutlich geringer, da das Verhältnis Kartoffel zu Kraut nur 1:0,4 beträgt und davon aus technischen Gründen nur 50 % vom Feld gewonnen werden können. Bei einem mittleren Kartoffelertrag von 41,1 t/ha und einem oTS-Gehalt von 20 % fallen daher etwa 1,6 t/ha oTS an (Kaltschmitt et al. 2003b). Der Gasertrag wird mit 0,42 m³/kg oTS angegeben (Keymer 2004) und der Heizwert des Biogases aus Ernteresten mit 18,4 MJ/m³ (AID 2003).

Die Entwicklung des Biogaspotenzials aus Ernteresten von Zuckerrüben und Kartoffeln hängt vor allem von der Ertrags- und Produktionsentwicklung ab. Die Fortschreibung dieser Faktoren ist in den vorangegangenen Kapiteln 5.2 bis 5.6 zu Pflanzenbau und Nahrungsmittelverbrauch der betrachteten Länder beschrieben und wird über alle Szenarien beibehalten.

5.7.2 Anbaupotenziale auf den verfügbaren Flächen

Neben den Reststoffen liefert der *Energiepflanzenanbau* Biomasse. Die Berechnungsgrundlagen für die in der Landwirtschaft verfügbaren Flächen und die Flächennutzungskonkurrenz wurden in den Kapiteln 5.2 - 5.6 beschrieben. Welches Energiepotenzial erreicht wird, hängt jedoch stark von der Ertragsleistung der Kultur auf der jeweiligen Fläche ab. Modellinhärent ist der Erhalt von Grünland, bei dem keine freie Wahl beim Anbau der Kultur besteht. Daher werden die Energiepotenziale auf Grünland und Ackerland getrennt betrachtet.

5.7.2.1 Energiepotenziale auf Grünland

Ein Ergebnis der Modellberechnungen mit HEKTOR sind die aufgrund geänderter Nachfrage- und Angebotsverhältnisse verfügbaren Grünlandflächen. Wenn Grünland aus Gründen des Umwelt- und Landschaftsschutzes im bisherigen Umfang bestehen bleiben soll, dann konkurrieren Beweidung und energetischen Nutzung. Besonders auf feuchten Standorten von

hoher Produktivität können dabei Nutzungskonflikte entstehen. Auf ertragsschwachen Standorten bereitet dagegen die Rentabilität der Nutzung große Schwierigkeiten.

In Anbetracht der ständig steigenden Anforderungen an Energie- und Eiweißgehalt für die Rinderfütterung werden vorwiegend Flächen mit geringem Ertragspotenzial aus der Nutzung fallen, die mindere Futterqualitäten liefern. Extensives Grünland liefert weniger als 6 t/ha*a TS, bei maximal zwei Schnittnutzungen pro Jahr (LBA 1997; Hoffmann 2002). Langzeitversuche zum Ertragspotenzial von nicht mehr gedüngtem Grünland zeigten außerdem über zehn Jahre Ertragsrückgänge von 0-33 % (Schiefer 1984). Bei reinen Landschaftspflegeflächen wird aus Umwelt- und Naturschutzgründen ein geringerer Ertrag erzielt. Auf nährstoffarmen Böden, Feuchtwiesen und in Höhenlagen oder bei Auflagen zur Schnitthöhe fallen nach Hartmann et al. (1995) nur zwischen 2,5 und 4 t/ha*a TS Grüngut an. Dies bestätigen Ergebnisse von Schmid et al. (1989), von 3 t/ha*a TS auf ungedüngten und 5 t/ha*a TS auf schwach gedüngten Magerwiesen. Ähnlich hoch sind die durchschnittlichen Grünlanderträge in Polen, Tschechien und Ungarn.

Mit einem gewissen Düngeaufwand auf Grünland zur Energieerzeugung kann nur dann gerechnet werden, wenn für den Gärrest als Wirtschaftsdünger keine günstigere Verwertungsmöglichkeit auf Ackerflächen besteht. Im Extremfall können daher auch für die Energieerzeugung die üblichen Durchschnittserträge im Futterbau geerntet werden. Tatsächlich werden zumindest die ertragsschwächeren Flächen in das Grünlandpotenzial eingehen. Ist die Grünlanddüngung bereits für den Futterbau eingeschränkt, so wird diese auch zur Energieerzeugung kaum stattfinden. Daher wird ein mittleres Ertragspotenzial in Deutschland und Bayern von 4,5 t/ha*a TS festgelegt. Für Polen und Tschechien wird der Ertrag auf 2,5 t/ha*a TS abgesenkt, während in Ungarn aufgrund der ohnehin geringen Grünlanderträge nur das Ertragsniveau aus der Landschaftspflege von 1 t/ha*a TS angesetzt wird.

Der anfallende Grünschnitt kann in feuchter oder siliierter Form als Koferment oder trocken zur Verbrennung genutzt werden. Auch die Erzeugung von Ethanol wird diskutiert. Im Modell wird nur die Nutzung als Koferment berücksichtigt, da die Trocknung auf dem Feld einen erhöhten Arbeitsaufwand bedeutet. Zudem können die Stoffkreisläufe bei der Vergärung leichter geschlossen werden. Die Ausbeute an Biogas hängt dabei vom Schnitzeitpunkt und den Spezifikationen der Anlage ab, für die im Modell ein Mittelwert von 0,55 m³/kg TS, bei einem Heizwert von 19,8 MJ/m³ angesetzt wird (AID 2003).

Die ermittelten Primärenergiepotenziale sind jedoch Bruttoenergiepotenziale. Während bei Reststoffen der energetische Aufwand für die Erzeugung dem Primärprodukt zugerechnet wird, müssen bei Energiepflanzen zusätzliche Aufwendungen zur Gewinnung der Biomasse berücksichtigt werden. Bei Grünschnitt beschränkt sich dies auf Düngung (soweit vorgesehen) und Silierung.

5.7.2.2 Energiepotenziale auf Ackerland

Im Gegensatz zu Grünland ist Ackerland sehr variabel nutzbar. Für jede Technologiekette lässt sich die gewünschte Biomasse zu produzieren und Energie für jeden der Sektoren Strom, Wärme und Verkehr liefern. Für welchen Bereich tatsächlich Kulturen angebaut werden, hängt damit von der Nachfrage an Energie aus den verschiedenen Sektoren ab und davon, welche alternativen Energieträger diese Nachfrage bedienen können. Im Treibstoffsektor ist Biomasse derzeit die einzige regenerative Energiequelle, wobei durch die Konversion relativ

hohe Umwandlungsverluste in Kauf genommen werden müssen. Von der Nachfrage hängt ab, mit welchen Kulturen die Flächen tatsächlich genutzt werden.

Auch landwirtschaftliche Faktoren bestimmen den Anbau von Energiepflanzen. Er wird durch die Standortfaktoren begrenzt und hängt von den wirtschaftlichen Rahmenbedingungen und der technischen Ausstattung des Bewirtschafters ab. Um die Unsicherheit über den zukünftigen Anbau von Biomasse abzufedern, sind im Modell verschiedene Energiepflanzen verfügbar, die auf den Ackerflächen angebaut werden können. Bei einigen Energiepflanzen wird durch Verbrennung der gesamte Energiegehalt genutzt. Bei der Umwandlung in Energieträger sind Verluste dagegen unvermeidlich. In Tabelle 36 sind die technischen Daten für die Berechnung der Energiepotenziale aus verschiedenen Kulturen zusammengefasst. Darin sind Umwandlungsverluste zu Strom bzw. Treibstoff berücksichtigt, nicht aber der Energieaufwand für die Erzeugung der Energiepflanzen.

Tabelle 36: Technische Daten zur Berechnung der Primärenergiepotenziale aus Energiepflanzenanbau

Produkt	Öl-/Ethanol-/Nebenproduktertrag [t/t]	Quelle
Rapsöl	0,3888	Fritsche et al. (2004a)
Zuckerrüben-Ethanol	0,0777	
Rapsextraktionsschrot	0,5910	
Zuckerrübenschitzel	0,0785	
Gasertrag [m³/t TS]		
Rapspresskuchen	612	Staiß (2001)
Zuckerrübenschitzel 33% TS	250	ATB (2002)
Silomais	570	AID (2003)
Heizwert [MJ/kg]		
Kurzumtrieb 50% Feuchte	12,3	Fritsche et al. (2004a)
Weizenkörner 17% Feuchte	14,5	
Weizenstroh 14% Feuchte	14,1	Kaltschmitt et al. (2001)
Rapsstroh 14% Feuchte	14,7	
Maisstroh	7,0	Hartmann et al. (2002)
Rapsöl	37,2	Fritsche et al. (2004a)
Ethanol	26,8	
Heizwert Biogas [MJ/m³]		
Biogas Energiepflanzen	19,8	AID (2003)

Auf Ackerland werden vorwiegend Energiepflanzen mit bekannter Technik aus der Nahrungsmittelproduktion berücksichtigt. Die Reststoffe eignen sich vorwiegend zur Strom- und Wärmebereitstellung durch direkte Verbrennung oder Biogaserzeugung. Heute übliche Treibstoffe, wie Pflanzenölmethylester oder Ethanol werden aus Ackerkulturen erzeugt.

Der Ertragsfortschritt der Energiekulturen entspricht dem der Nahrungsmittelproduktion. Aus den einjährigen Energiepflanzen wurden Raps als Ölpflanze, Zuckerrüben als Hackfrucht sowie Winterweizen aufgrund der hohen Flächenerträge stellvertretend für Getreide ausgewählt. Auch Silomais als wichtige Energiepflanze für die Biogaserzeugung geht in den Mix ein. Ergänzt werden diese Kulturen durch Feuchtgutlinien (vgl. Kapitel 2.3.2), die über die Vergärung energetisch genutzt werden. In Anlehnung an Heinz et al. (1999) wird diesen ein Ertragspotenzial von 113 % des Silomaisanbaus angerechnet.

Stellvertretend für die mehrjährigen Kulturen stehen Kurzumtriebsplantagen mit Pappeln. Deren Ertragspotenzial wird in Deutschland für 2000 mit 10 t/ha TM angenommen (Kauter et al. 2003). In den neuen Mitgliedsstaaten wird das Ertragsniveau analog zu den übrigen Kulturen etwas reduziert. Der Ertragsfortschritt wird mit durchschnittlich 2 % festgelegt.

Die Stellvertreterkulturen bilden die hohe Variationsbreite des gesamten Anbauspektrums ab. Für die Berechnung der Energiepotenziale auf Anbauflächen wird ein Mix der sechs Kulturen zu gleichen Teilen angesetzt. Für die Nutzung der Nebenprodukte und Reststoffe, die beim Energiepflanzenanbau anfallen, wird eine vollständige energetische Verwertung angenommen. Daraus ergibt sich ein spezifischer durchschnittlicher Energieertrag für pro Land und Stützzeitpunkt.

6 Szenarien für landwirtschaftliche Biomassepotenziale

Die Zukunft der landwirtschaftlichen Biomassepotenziale hängt stark von der Weiterentwicklung der in Kapitel 5 umrissenen Rahmenbedingungen ab. Durch die Agrarpolitik sind einigen Entwicklungspfaden kurz- und mittelfristig enge Grenzen gesetzt. Die Reformen von 2000 und 2003 zeigen, dass andere Politikoptionen langfristig die Landnutzung in Europa stark verändern können. Auch die globalen Märkte für Nahrungsmittel üben Einfluss aus. Im Hinblick auf die Energieversorgung sind langfristige Zeiträume relevant, in welchen eine zunehmende Verknappung fossiler Energiequellen an Bedeutung zunimmt. Auch der Umwelt- und besonders der Klimaschutz sind nur generationsübergreifend zu betrachten. Hinsichtlich der Agrarpolitik ist der Betrachtungszeitraum bis 2030 aber nicht prognostizierbar. Daher wird mittels Szenarien ein Korridor für die zukünftigen Biomassepotenziale aus der Landwirtschaft aufgespannt. Dies sind Wenn-dann-Aussagen, welche die Konsequenzen verschiedener Randbedingungen für Entwicklungsoptionen ermitteln. *Szenarien stellen aber keine Prognosen dar.* Die Annahmen betreffen vorwiegend die Nahrungsmittelproduktion, aber auch die außerlandwirtschaftliche Landnutzung.

6.1 Definition der Szenarien

Die Szenarien enthalten jeweils politikkonsistente Entwicklungspfade der variablen Faktoren. Zunächst wurde ein Referenzszenario erstellt, das die aktuellen Rahmenbedingungen für die Landnutzung ohne Weiterentwicklung der Politik fortschreibt. Für das Referenzszenario werden die verschiedenen Szenarioparameter in einer Sensitivitätsanalyse auf ihre Ergebnisrelevanz hin überprüft. Davon ausgehend werden in einem weiteren Szenario Politikoptionen betrachtet, die eine verstärkte Umsetzung von Nachhaltigkeitskriterien zum Ziel haben. Abschließend bildet eine Szenarreihe ab, wie sich eine Verschiebung der landwirtschaftlichen Produktion weg von Nahrungsmittelexporten und hin zu einer verstärkten Biomasseproduktion gestalten würde.

6.1.1 Referenzszenario

Für die Ausgestaltung des *Referenzszenarios* (REF) gilt das Motto *business as usual*. Es beruht auf der Weiterführung der Trends in der Nahrungsmittelproduktion, wie sie in Kapitel 5 ausführlich beschrieben wurden. Der Großteil der Annahmen betrifft die Landwirtschaft. Das Referenzszenario geht dabei von einer Fortführung der aktuellen Agrarpolitik nach der Reform von 2003 aus.

Für alle Länder wird ein Anstieg der ökologischen bzw. extensiven Landwirtschaft angesetzt, die der Zunahme in den vergangenen zehn Jahren folgt. Innerhalb der konventionellen Tierhaltung wird eine Intensivierung angenommen, die durch höhere Anteile der intensiven Prozesse umgesetzt wird.

Tabelle 37 zeigt exemplarisch für Deutschland die zeitliche Entwicklung der Produktion im Referenzszenario. Der Zunahme der extensiven Landwirtschaft auf bis zu 13 % der Flächen steht eine fortschreitende Intensivierung von Schweinemast und Milchproduktion gegenüber. Intensive Bullenmast verliert an Vorzüglichkeit durch die Entkopplung (Isermeyer 2003b;

Öko-Institut 2003). Der Prozess Käfighaltung bei Legehennen fällt in Deutschland aufgrund der aktuellen Gesetzeslage nach 2012 weg.

Tabelle 37: Anteile der Produktionsrichtungen im Referenzszenario für Deutschland

Produktionsrichtung	2000	2015	2030
Pflanzenproduktion aus			
ökologischer Landwirtschaft	3,2%	7,8%	12,4%
Schweinefleisch aus			
Intensivmast	58%	65%	70%
konventioneller Mast	42%	33%	25%
ökologischer Mast	0%	2%	5%
Milch aus			
Stallhaltung, Maissilage	27%	35%	39%
Stallhaltung, Grassilage	40%	35%	28%
Weidehaltung	30%	22%	20%
ökologischer Haltung	3%	8%	13%
Rindfleisch aus			
konv. Bullenmast, Maissilage	59%	49%	46%
konv. Bullenmast, Grassilage	22%	21%	21%
ökologische Rindermast (Kalb aus Milchkuhhaltung)	1%	3%	4%
extensive Rindermast (Kalb aus Mutterkuhhaltung)	17%	26%	29%
Eier aus			
Käfighaltung	86%	0%	0%
Bodenhaltung	6%	80%	70%
Freilandhaltung/ ökologische Haltung	8%	20%	30%

(Quelle: Für 2000 vgl. BMVEL 2001; Döhler et al. 2002, ab 2005 eigene Annahmen)

Ähnliche Entwicklungen werden auch für Bayern, Polen, Tschechien und Ungarn abgeleitet. Wie das Ausgangsniveau unterscheiden sich jedoch die Entwicklungsoptionen der Länder, bedingt durch ihre unterschiedliche landwirtschaftliche Struktur erheblich. Der folgende Auszug aus den Referenzszenarien (vgl. Tabelle 38) zeigt, wie sich die Produktion bis 2030 weiterentwickelt. Einen vollständigen Überblick über die Ausgangslage und die Entwicklung der Parameter zu allen Stützzeitpunkten zeigen **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.** bis Anhangstabelle 11.

Tschechien, mit dem heute höchsten Anteil an ökologischer Landwirtschaft, behält die Vorreiterrolle bei. Polen ist in dieser Hinsicht das Schlusslicht. Allerdings bedingen hier Subsistenz- und Semisubsistenzlandwirtschaft eine insgesamt geringere Intensität und einen hohen Anteil an *high nature value farming*.

In Tschechien und Ungarn führt die Betriebsstruktur mit sehr großen Betrieben zu einer intensiveren Schweine- und Bullenmast (vgl. Kapitel 5.5.2 und 5.6.2) Diese ist vor dem Hintergrund der geringeren Futtermittelverwertung nur begrenzt mit Deutschland vergleichbar. In Ungarn schlägt sich jedoch die hohe Getreideproduktion in der Fütterung nieder. Während die Käfighaltung für Legehennen in Deutschland und Bayern ab 2012 wegfällt, wird sie von den EU-Neumitgliedern beibehalten. Bayern unterscheidet sich von Deutschland vor allem im Bereich der Schweinemast, was vorwiegend auf die bestehenden Größenunterschiede der

Betriebsstruktur zurückzuführen ist. Insgesamt stellt Tabelle 38 die Weiterentwicklung des Produktionsrahmens im Referenzszenario dar.

Tabelle 38: Annahmen zur Produktion im Referenzszenario für 2030

Produktionsrichtung	Deutschland	Bayern	Polen	Tschechien	Ungarn
Pflanzenproduktion aus					
ökologischer Landwirtschaft	12,4%	8,5%	2,4%	22,7%	8,5%
Schweinefleisch aus					
Intensivmast	70%	20%	20%	66%	50%
konventioneller Mast	25%	75%	78%	30%	46%
ökologischer Mast	5%	5%	2%	4%	4%
Milch aus					
Stallhaltung, Maissilage	39%	70%	40%	45%	70%
Stallhaltung, Grassilage	28%	21%	41%	15%	14%
Weidehaltung	20%	3,0%	17%	15%	7%
ökologischer Haltung	13%	6%	2%	25%	9%
Rindfleisch aus					
konv. Bullenmast, Maissilage	46%	53%	42%	43%	65%
konv. Bullenmast, Grassilage	21%	25%	32%	15%	20%
ökologischer Rindermast (Kalb aus Milchkuhhaltung)	4%	5%	2%	14%	8%
extensiver Rindermast (Kalb aus Mutterkuhhaltung)	29%	18%	24%	28%	7%
Eier aus					
Käfighaltung	0%	0%	67%	70%	70%
Bodenhaltung	70%	70%	18%	10%	10%
Freilandhaltung/ ökologische Haltung	30%	30%	15%	20%	20%

(Quelle: Eigene Annahmen, für Deutschland und Bayern in Anlehnung an BMVEL 2001; Döhler et al. 2002; für neue Mitgliedsstaaten in Anlehnung an EUROSTAT 2004; Polnisches Landwirtschaftsministerium 2004; IFCN verschiedene Jahrgänge-b; a)

Darüber hinaus werden Annahmen für die zukünftige Produktion mit Hilfe der Selbstversorgungsgrade im Modell implementiert (vgl. Tabelle 39). Den Annahmen für Getreide liegen die Marktprognosen der EU-Kommission zugrunde, wonach Getreideproduktion und -exporte in der EU-25 leicht zunehmen werden (DG AGRI 2004b). Die neuen Mitgliedsstaaten werden daran einen höheren Anteil haben. Im Referenzszenario wird die Exportausdehnung also vorwiegen in Polen, Tschechien und Ungarn umgesetzt, wie in Tabelle 39 hervorgehoben ist. Hier besteht ein größeres Wachstumspotenzial in der Pflanzenproduktion (FAO 2003).

Die langfristigen Exportchancen hängen stark von den Entwicklungen der Weltmärkte ab. Dort gibt es zwei gegensätzliche Triebkräfte: Einerseits lassen der Bevölkerungszuwachs und die steigenden Ernährungsbedürfnisse eine wachsende Nachfrage nach Lebensmitteln und steigende Preise erwarten. Andererseits führt der technische Fortschritt zu einer wachsenden Produktion und wachsendem Angebot. OECD und FAO gehen davon aus, dass die Produktionssteigerung als stärkere Triebkraft die Preise auf den Weltmärkten weiter sinken lässt und sich so der Trend der letzten 50 Jahre fortsetzt (FAO 2003; OECD/FAO 2004). Für eine Ausdehnung des europäischen Exports würden in diesem Fall wieder verstärkt Exportsubventionen benötigt (OECD/FAO 2004). Gerade diese werden aber zurzeit abgebaut. Daher ist eine sehr starke Exportausdehnung unwahrscheinlich.

In Deutschland gehen Kleinhanss et al. (2004) durch die Entkopplung von einem Rückgang der Getreideproduktion von ca. 7,5 % aus. In HEKTOR resultiert daraus eine sinkende Selbstversorgung auf 125 % ab 2010, sowie auf 115 % in Bayern (vgl. Tabelle 39).

Tabelle 39: Selbstversorgungsgrade pflanzlicher Produkte im Referenzszenario

Produkt	Land	2000	2015	2030
Getreide	Deutschland	129%	125%	125%
	Bayern	116%	115%	115%
	Polen	98%	115%	130%
	Tschechien	110%	120%	130%
	Ungarn	125%	150%	165%
Zucker	Deutschland	160%	145%	145%
	Bayern	199%	175%	175%
	Polen	111%	100%	100%
	Tschechien	100%	95%	95%
	Ungarn	100%	90%	90%

(Quelle: Für 2000 nach EUROSTAT 2004, für Annahmen ab 2005 vgl. Kapitel 5)

Die Zuckermarktordnung wird nicht zuletzt aufgrund des WTO-Urteils zu den Zuckerexporten umfassend reformiert (Agra-Europe 2005d). Eine Preisabsenkung ist sicher, deren genaue Höhe aber noch nicht abzusehen. Damit ist ein Rückgang der Zuckerproduktion in der EU verbunden.

Innerhalb von Szenarien der EU-Kommission (2003) für die Folgen einer Zuckermarktreform wurde ein Gleichgewichtspreis von 475 Euro/t errechnet, bei dem die Zuckererzeugung um etwa 34 % sinkt. In der EU wird von einem Rückgang der Zuckerproduktion von heute 20 Mio. t auf 16 - 14 Mio. t (20 - 30 %) ausgegangen. In den Szenarien wird dieser Produktionsrückgang zunächst zur Produktionsaufgabe in weniger wettbewerbsfähigen Ländern führen. In Deutschland, Bayern und Polen fällt der Rückgang der Produktion geringer aus als in Tschechien und Ungarn, da letztere aufgrund von Produktivitätsnachteilen schneller aus der Produktion aussteigen (EU-Kommission 2003).

Die Selbstversorgungsgrade von Kartoffeln und Leguminosen werden auf dem Anfangsniveau beibehalten und bis 2030 weitergeführt. Für tierische Lebensmittel folgen die Selbstversorgungsgrade den in Kapitel 5.2 bis 5.6 für jedes Land beschriebenen Rahmendaten und Trends für Schweine- und Geflügelfleisch, Eiern sowie der Produktion von Rindfleisch. Tabelle 40 vergleicht die Entwicklung in den verschiedenen Ländern und Sektoren im Referenzszenario. Hervorgehoben sind darin die Länder mit besonders starker Dynamik.

Für Schweinefleisch wird vor allem in Ungarn eine erhebliche Ausdehnung der Produktion erwartet, welche die Zunahme im Nahrungsverbrauch noch übertrifft. Für Polen schlägt das Referenzszenario einen Mittelweg ein, in dem die Erzeugung dem Verbrauchswachstum folgen kann und kurzfristig sogar Überschüsse erzielt werden. Auch in Tschechien werden die Chancen in der Schweinehaltung genutzt, die Produktion analog zum Verbrauch ausgedehnt und die Selbstversorgung beibehalten. In Deutschland führt dagegen schon eine leichte Ausdehnung der Produktion bei leicht rückläufigem Schweinefleischverbrauch zu einem Anstieg der Selbstversorgung. Die Selbstversorgung in Bayern bleibt bei einem leichten Bestandsrückgang stabil.

Tabelle 40: Selbstversorgungsgrade für Schweinefleisch, Geflügelfleisch und Eier im Referenzszenario

Produkt	Land	2000	2015	2030
Schweinefleisch	Deutschland	86%	92%	96%
	Bayern	75%	75%	75%
	Polen	105%	106%	100%
	Tschechien	99%	100%	100%
	Ungarn	116%	125%	125%
Geflügelfleisch	Deutschland	70%	70%	70%
	Bayern	40%	40%	40%
	Polen	105%	120%	120%
	Tschechien	99%	105%	115%
	Ungarn	140%	120%	110%
Eier	Deutschland	70%	40%	40%
	Bayern	50%	30%	25%
	Polen	105%	115%	118%
	Tschechien	106%	105%	105%
	Ungarn	102%	102%	102%

(Quelle: Für 2000 nach EUROSTAT 2004, für Annahmen ab 2005 vgl. Kapitel 5)

Bei Geflügelfleisch beschränkt sich die Dynamik auf die osteuropäischen Länder, mit starkem Zuwachs in Polen und Tschechien. Die Produktion folgt der Entwicklung beim Verbrauch und übertrifft sie sogar. In Ungarn kann die Produktion aufgrund des fehlenden Kapitals nicht mit dem sehr stark wachsenden Verbrauch mithalten. In Deutschland und Bayern gleicht die begrenzte Produktionsausdehnung bei Geflügelfleisch den steigenden Verbrauch gerade aus, die Selbstversorgungsquote von 70 % bzw. 40 % wird bis 2030 fortgeschrieben.

Die Legehennenverordnung wird die Eierproduktion in Deutschland und Bayern ab 2012 einschränken, weswegen die Produktion als stark abnimmt. Nur gut die Hälfte der derzeitigen Selbstversorgung wird aufrechterhalten. Dieser Prozess öffnet Marktchancen für andere Produktionsstandorte, weswegen Polen in der Versorgung mit Eiern stark zulegt.

Die Berechnungen für Rindfleisch basieren auf der Produktionsmenge (Tabelle 41). Der Pro-Kopf-Verbrauch für Rindfleisch unterliegt derzeit großer Unsicherheit als Folge BSE-Krise. Die Fortschreibung der Rindfleischproduktion im Referenzszenario spiegelt den aktuellen Wandel der EU zum Nettoimporteur von Rindfleisch wider. Auch zukünftig bestehen kaum Chancen für die Ausdehnung der Produktion (OECD/FAO 2004). Abnehmende Milchviehbestände führen zu einer rückläufigen Kälberproduktion, die in allen Ländern nur begrenzt durch Mutterkuhhaltung kompensiert wird.

Tabelle 41: Rindfleischproduktion im Referenzszenario

Land	Einheit	2000	2015	2030
Deutschland	Mio. t	1.403	1.192	1.052
Bayern		399	339	299
Polen		330	320	335
Tschechien		110	102	102
Ungarn		56	50	48

(Quelle: Für 2000 nach EUROSTAT 2004, für Annahmen ab 2005 vgl. Kapitel 5)

Für Deutschland und Bayern wird in HEKTOR zunächst ein Produktionsrückgang bis 2015 von etwa 15 % erwartet, der vorwiegend auf die Entkopplung zurückzuführen ist (Kreins et al. 2002; Sundrum 2005). Bis 2030 geht die Rindfleischerzeugung in HEKTOR dann auf 75 % des Produktionsniveaus von 2000 zurück. Auch in Tschechien und Ungarn ist die Rindfleischproduktion rückläufig. Nur für Polen geht das Referenzszenario von einer Erholung der derzeit sinkenden Rindfleischproduktion aus.

Für die außerlandwirtschaftliche Landnutzung gilt im Referenzszenario ebenfalls eine Fortschreibung der bisherigen Entwicklung, ohne aktives Eingreifen der Politik. Da derzeit kein eindeutiger Zielwert für die Flächenentwicklung für den Naturschutz in der Gesetzgebung verankert ist, werden wie bisher weitere Flächen ausgewiesen. Ungarn stellt eine Ausnahme dar, denn es weist bereits einen sehr hohen Anteil an mäßig geschützten Flächen auf. Die Ausweisung an Flächen mit sehr hohem Schutzgrad stagniert jedoch (vgl. Kapitel 5.6.3.2). Im Referenzszenario weitet Ungarn seine Naturschutzflächen nicht weiter aus.

Für den zukünftigen Flächenverbrauch für Siedlung und Verkehr ist die Entwicklung schwer festzulegen. Die Trends waren lange Zeit ansteigend, in den letzten Jahren war der Verbrauch aber rückläufig. Zudem ist die Datenbasis zum Flächenverbrauch in den neu beigetretenen Mitgliedsstaaten wenig robust.

Für Deutschland wird zunächst der aktuelle Flächenverbrauch fortgesetzt, der jedoch bis 2030 leicht zurückgeht (vgl. Tabelle 42). Dies begründet sich in der stagnierenden Bevölkerung und den bisherigen Bemühungen, den Flächenverbrauch einzuschränken. In Bayern wird die wachsende Bevölkerung einbezogen, weswegen der Flächenverbrauch konstant bleibt. Er wird auf dem mittleren Niveau von 2000 bis 2005 fortgeschrieben. Für beide Regionen zieht dies proportional Ausgleichsflächen nach sich (vgl. Kapitel 5.3.3.1).

Tabelle 42: Flächenverbrauch für Siedlung und Verkehr im Referenzszenario

Land	Einheit	2000-2005	2010-2015	2020-2030
Deutschland	ha/d	118	106	91
Bayern		21	21	21
Polen		24	37	49
Tschechien		11	16	24
Ungarn		10	15	22

(Quelle: Für 2000 nach Bundesregierung 2003; EUROSTAT 2004, für Annahmen ab 2005 vgl. Kapitel 5)

In Polen, Tschechien und Ungarn wird ein ansteigender Flächenverbrauch ohne Ausgleichsflächen angesetzt. Dies trägt einem steigenden Bruttonationaleinkommen Rechnung. Einerseits führt eine Produktionssteigerung zum Ausbau der Produktionsstätten und der Infrastruktur. Andererseits steigt mit dem Lebensstandard auch die Nachfrage nach Wohnraum. Bis 2010 erfolgt im Referenzszenario ein schneller Anstieg des Flächenverbrauchs. In Polen und Tschechien erreicht der Flächenverbrauch etwa das jeweilige Niveau der 90-er Jahre. Anschließend verlangsamt sich der Anstieg erheblich. Insgesamt ist die Datenlage zur außerlandwirtschaftlichen Flächennutzung für die neuen EU-Mitgliedsstaaten sehr vage. Daher legt die Sensitivitätsanalyse (Kapitel 6.2.1.4) ein besonderes Augenmerk darauf, wie eine abweichende Entwicklung das Biomassepotenzial beeinflusst.

Die oben dargestellten Entwicklungen bilden die Landnutzung im Referenzszenario ab, aus der sich auch die Reststoffnutzung ableitet. Beeinflussbar bleibt die Mobilisierungsrate der Reststoffe. Eine pauschale Annahme unterstellt, dass 80 % des Strohanfalls auf den Flächen verbleiben (Strehler 1991; Flaig et al. 1995; Hartmann et al. 2002). Dies wird für das Referenzszenario übernommen. Bei Kartoffel- und Rübenblatt geht das Referenzszenario von der Untergrenze der Mobilisierung auf 33 % bzw. 25 % der Fläche aus. Dies trägt der relativ hohen Feuchte der Substrate Rechnung, die nur geringe Transportwege zulassen.

Für die Berechnung des Energiepotenzials wird auf Ackerland der in Kapitel 5.7.2.2 vorgestellte Mix an ein- und mehrjährigen Kulturen aus Raps, Zuckerrüben, Silomais, Winterweizen, der Feuchtgutlinie und Kurzumtriebsplantagen umgesetzt, der ein durchschnittliches Primärenergiepotenzial darstellt. Für Grünschnitt wurde eine Vergärung zu Biogas angenommen, der das Ertragspotenzial von mittel-intensiv geführtem Grünland zu Grunde gelegt wird.

6.1.2 Nachhaltigkeitsszenario

Das Referenzszenario schildert nur *einen* möglichen Entwicklungspfad der Biomassepotenziale aus der Landwirtschaft. Nachhaltigkeitsziele ohne Gesetzesgrundlage werden nicht umgesetzt. Diese sollten jedoch für eine nachhaltigere Energieversorgung ebenfalls berücksichtigt werden. Daher wurde als weiteres Szenario ein *Nachhaltigkeitsszenario* (NH) erstellt, das eine umfassende Umsetzung von Nachhaltigkeitszielen vorsieht und sich möglichen Zielkonflikten stellt.

Die Biomasse betreffen vor allem Fragen zu konkurrierenden Flächennutzungen, wie sie im Modell implementiert wurden. Einige Nachhaltigkeitsziele konkurrieren mit der Biomasseproduktion, während andere Synergien bieten. Gleichzeitig ist die Ausdehnung der Bioenergienutzung für eine erneuerbare, klimaneutrale Energieversorgung wünschenswert. Im Nachhaltigkeitsszenario wird beides schrittweise untersucht.

6.1.2.1 Konkurrenzfaktoren für die Biomasseerzeugung

Zunächst werden im Nachhaltigkeitsszenario die Ziele berücksichtigt, die restriktiv auf das Biomassepotenzial wirken. Dies ist die Ausdehnung der ökologischen Landwirtschaft und der Naturschutzflächen zur Verbesserung des Umwelt- und Naturschutzes.

Ökologische Landwirtschaft

Die Umweltvorteile der ökologischen Landwirtschaft werden teils kontrovers diskutiert (z.B. Methanemissionen in der Tierhaltung). Gegenüber der Gesamtheit des konventionellen Landbaus wirkt sich der ökologische Landbau aber positiv auf die Umwelt aus (Stolze et al. 2000). Vor allem ökologische Ackerbausysteme zeigten im Langzeitversuch Vorteile bei Biodiversität und Bodenfruchtbarkeit (Mäder et al. 2002). Dieses Nachhaltigkeitspotenzial wird bisher in Europa nur begrenzt genutzt.

Ziel der EU ist die Ausdehnung des ökologischen Landbaus, wozu ein europäischer Aktionsplan verabschiedet wurde (EU-Kommission 2004d). Darin ist jedoch nicht verankert, welcher Anteil an ökologischer Landwirtschaft in Europa erreicht werden kann oder soll. Die deutsche Bundesregierung strebte mit der so genannten *Agrarwende* im Jahr 2001 einen Anteil der ökologischen Landwirtschaft von 20 % bis 2010 an. Dieses Ziel war bezüglich Machbarkeit

und Implikationen jedoch höchst umstritten (Kuhnert et al. 2004). Nachdem Regierungswechsel 2005 ist dieses Ziel zudem nicht mehr gegeben.

Für das Nachhaltigkeitsszenario wurde aus der Agrarwende der weitere Ausbau des ökologischen Landbaus abgeleitet. Der Zeithorizont wird bis 2030 ausgedehnt. Als gemeinsames Ziel wird für alle betrachteten Länder ein Flächen- oder Produktionsanteil von 30 % extensiver Landwirtschaft vorgegeben. Die intensiveren Produktionsprozesse werden analog gekürzt. Für Deutschland und Bayern bedeutet dies bis 2030 eine Ausweitung um ca. 20 Prozentpunkte. Tschechien legt bereits im Referenzszenario einen hohen Anteil an ökologischem Landbau vor, weswegen die Ausweitung geringer ausfällt.

In Polen und Ungarn nimmt die ökologische Landwirtschaft bisher noch einen untergeordneten Rang ein. Ganz erhebliche Flächen umfasst aber das *high nature value farming*, das aufgrund geringerer Bewirtschaftungsintensität hohen Umweltwert aufweist (EEA 2004). Der Anteil ist aber bisher nicht genau quantifiziert und daher im Referenzszenario auch nicht berücksichtigt. Im Nachhaltigkeitsszenario sollen diese Flächen aber erhalten bleiben und können mit der Extensivierungsanforderung durch ökologischen Landbau verrechnet werden. Damit wird eine Intensivierung dieser ökologisch wertvollen Flächen vermieden.

Für Polen und Ungarn wird ein Anteil von 20 % HNV-farming angenommen, der in der konventionellen Landwirtschaft aufgeht. Für diese 20 % Fläche werden ab 2000 niedrigere Erträge auf dem extensiven Niveau angesetzt. Für die restlichen 80 % der Fläche ergibt sich analog ein höherer Ertrag. Beide Ertragsniveaus ergänzen sich zum statistischen Durchschnittsertrag, wie er im Referenzszenario angesetzt wurde. Die Ertragsfortschreibung erfolgt nur für 80 % der konventionellen Ackerflächen. Für die 20 % HNV-farming-Fläche wird der Ertrag auf dem Niveau von 2000 weitergeführt. Im Gegenzug verringert sich die Extensivierungsforderung auf 10 % bis 2030.

Bewirtschaftungsauflagen

Ein weiteres Nachhaltigkeitsziel, das zur Flächenkonkurrenz führen kann, ist die Erhaltung und Schaffung extensiven Grünlands. In Deutschland wird im Nachhaltigkeitsszenario nach Köppel et al. (2004) eine Flächenforderung von 20 % an extensivem Grünland eingeführt und anteilig auf Bayern übertragen. Die neuen EU-Mitgliedsstaaten bekommen die Auflage, das vorhandene halb-natürliche Grasland zu erhalten. Dessen Umfang ist in Tabelle 43 dargestellt. Diesen Vorgaben wird zunächst das extensive Grünland aus der Pferde- und Schafhaltung sowie der Mutterkuhhaltung angerechnet. Reicht das nicht aus, so wird die restliche Fläche aus dem Grünlandpotenzial für die Biomasseerzeugung gedeckt und Extensivierungsauflagen eingeführt.

Tabelle 43: Flächenforderung für den Erhalt extensiven Grünlands

Bezeichnung	Einheit	Deutschland	Bayern	Polen	Tschechien	Ungarn
Extensives Grünland	Mio. ha	1,0	0,24	2,0	0,55	0,96
Anteil am gesamten GL	%	20%	20%	52%	53%	83%

(Quelle: EEA 2004; Köppel et al. 2004)

Naturschutzflächen

In der Landwirtschaft sind Umwelt- und Naturschutz beigeordnete Ziele. Im Nachhaltigkeits-szenario werden daher die Flächen ausgedehnt, auf welchen Umwelt- und Naturschutz Vorrangstellung genießen. Bisher sind keine quantitativen Ziele festgelegt, die über das bisher Erreichte hinausgehen. Zwar soll europaweit die Biotopvernetzung verbessert werden (Rat der EU 1992); inwieweit dies zu Ausschlussflächen für die Landwirtschaft führt, ist aber nicht direkt fassbar. Gerade Osteuropa besitzt eine hohe Biodiversität, auch auf Flächen mit traditioneller Landbewirtschaftung. Der Schutz dieser Flächen ist Ziel der EU; verbindliche Flächenanteile sind allerdings nicht festgelegt (EU-Kommission 2001a).

Im Nachhaltigkeitsszenario soll ein Verlust dieser Flächen vermieden werden. Neben dem höheren Anteil an extensiver Landwirtschaft wird die Ausdehnung der Naturschutzflächen beschleunigt und die Flächenausweisung gegenüber dem Referenzszenario verdoppelt. In Ungarn werden im Referenzszenario aufgrund der bereits hohen Quote keine weiteren Flächen ausgewiesen. Im Nachhaltigkeitsszenario werden nun die streng geschützten Flächen (z.B. Nationalparks) bis 2030 um 50 % ausgeweitet. Dies mindert das Energiepotenzial.

6.1.2.2 Synergiefaktoren für die Biomasseerzeugung

Nachhaltigkeitsziele können das Biomassepotenzial nicht nur beschränken, sondern auch erhöhen. Als wichtige Einflussfaktoren werden die Reduzierung des Flächenverbrauchs für Siedlung und Verkehr sowie eine verstärkte Reststoffnutzung betrachtet.

Flächenverbrauch für Siedlung und Verkehr

Der Zubau von Flächen für Verkehrs- und Siedlungszwecke führt zu unwiederbringlichen Bodenverlusten. Ziel einer nachhaltigen Entwicklung muss eine Reduktion dieses Flächenverbrauchs sein. In der EU ist dies eine zentrale Aufgabe der Bodenschutzstrategie, die aber keine verpflichtenden Ziele festlegt. Für Osteuropa fehlt überdies die Datengrundlage für die Quantifizierung der Problematik (EU-Kommission 2002). In Deutschland hatte sich die rot-grüne Bundesregierung in ihrer Nachhaltigkeitsstrategie das Ziel gesetzt, den Flächenverbrauch bis 2020 auf 30 ha/d zu reduzieren (Bundesregierung 2003).

Im Nachhaltigkeitsszenario dient dieses Ziel als Leitlinie: Im Vergleich zum Referenzszenario geht der zusätzliche Flächenverbrauch zwischen zwei Stützzeitpunkten um 4 % zurück. In Deutschland summiert sich dies mit dem Rückgang im Referenzszenario auf eine Abnahme um jährlich 5 %, das politische Ziel wird zwischen 2020 und 2030 erreicht (vgl. Tabelle 44).

Tabelle 44: Flächenverbrauch im Nachhaltigkeitsszenario

Land	Einheit	2000-2005	2010-2015	2020-2030
Deutschland	ha/d	118	66	25
Bayern		21	14	7
Polen		24	26	19
Tschechien		11	10	7
Ungarn		10	9	7

(Quelle: Eigene Annahmen nach Bundesregierung 2003; EUROSTAT 2004)

Für Polen, Tschechien und Ungarn wird analog ein Rückgang des Flächenverbrauchs angenommen. Trotz der wirtschaftlichen Chancen durch den Beitritt steigt dieser bis 2010 nur

noch um jährlich 2 % an. Anschließend geht der Verbrauch um jährlich 2 % zurück, da ein nachhaltiges Wirtschaftswachstum zunehmend vom Ressourcenverbrauch entkoppelt wird.

Verstärkte Mobilisierung der Biomasse-Reststoffe

Aus Nachhaltigkeitssicht ist auch eine Ausdehnung der Reststoffnutzung für energetische Zwecke wünschenswert. Dabei kann die Energieerzeugung so lange ausgedehnt werden, wie keine negativen Auswirkungen auf andere Umweltfunktionen auftreten.

Im Referenzszenario werden die pflanzlichen Reststoffe in der Landwirtschaft nur teilweise genutzt. Bei Getreidestroh bestehen weitere Potenziale, solange die Humusergänzung nicht beeinträchtigt wird. Wie viel Stroh zur Humusergänzung benötigt wird, hängt von Standort, Fruchtfolge und Zwischenfruchtanbau ab. Da in HEKTOR keine standortspezifische Betrachtung vorsieht, wurde der Bedarf über die bestehenden Anbauverhältnisse angenähert. Für Deutschland wurde eine Humusbilanz anhand der in 2000 belegten Ackerflächen und der Cross-Compliance-Vorgaben berechnet (vgl. dazu **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.**). Eine ausgeglichene Bilanz benötigt mindestens 65 % des Strohanfalls, etwa 35 % sind verfügbar. Im Nachhaltigkeitsszenario gilt dies als Näherungswert für alle Länder.

6.1.3 Szenarete zu reduzierten Nahrungsmittlexporten

Aus dem Nachhaltigkeitsszenario wird ein Unterszenario entwickelt, das vom Hauptszenario nur in einer Annahme abweicht, eine so genannte Szenarete. Darin wird die Frage untersucht, wie stark die Potenziale durch eine weitere Ausdehnung der Flächen für Energiepflanzenanbau, z. B. durch eine verstärkte Förderung der Biomasse variieren könnten.

Je nach Förderhöhe konkurriert Biomasse mit der Nahrungsmittelproduktion um Flächen. Davon kann z. B. auch der Pachtmarkt betroffen sein (Heißenhuber et al. 2005a). Steigende Preise auf den Energiemärkten führen ebenfalls zu einer verbesserten Wirtschaftlichkeit der Biomasse und können eine starke Ausdehnung der Biomassenutzung nach sich ziehen.

Neben dem inländischen Markt hat eine erhöhte Nachfrage nach Energiebiomasse auch Auswirkungen auf den Weltmärkten. Eine sehr starke Zunahme des Energiepflanzenanbaus könnte zu erhöhten Nahrungsmittelimporten nach Europa führen, die höhere Weltmarktpreise induzieren – mit erheblichen Auswirkungen insbesondere für die Entwicklungsländer. Die Frage, in wie weit diese Entwicklung zu insgesamt positiven oder negativen Folgen führen würde, kann in der vorliegenden Arbeit nicht beantwortet werden.

Daher wird für die Szenarete ein vereinfachter Ansatz gewählt: Die Nachhaltigkeitsprämisse schließt einen Biomasseanbau in Europa auf Kosten weit reichender Nahrungsmittelimporte aus Entwicklungsländern aus. Auf welche Flächenpotenziale dort über deren Eigenbedarf hinaus verfügbar sind, ist umstritten. Die die Sicherstellung einer ausreichenden Versorgung mit Lebensmitteln in der EU ist außerdem weiterhin ein Ziel der GAP (DG AGRI 2004a). Dies begrenzt die mögliche Flächenfreisetzung in der Szenarete auf überversorgte Bereiche.

Darüber hinaus sollen aber nur die Exporte berücksichtigt werden, bei welchen die EU mittels Exportsubventionen stark in den Markt eingreift. Bei zukünftig stärkerer Konkurrenz auf den Weltmärkten halten FAO und OECD ein erneutes Ansteigen der europäischen

Exportsubventionen für wahrscheinlich (OECD/FAO 2004). Dies will die EU aber durch die Entkopplung im Rahmen der GAP verhindern (Rat der EU 2003).

Aus diesen Überlegungen wird die Szenarette *Exportreduktion* (NHSV) eingeführt, die zu geringeren Selbstversorgungsgraden führt. Ausgehend vom Nachhaltigkeitsszenario wird betrachtet, wie viel Flächen durch den Abbau europäischer Überschüsse freigesetzt werden können. Dazu verzichtet Europa auf subventionierte Getreideexporte, und auf (quer-) subventionierte Zuckerexporte. Die Selbstversorgungsgrade dieser beiden Kulturen werden dabei gegenüber dem Referenzszenario für alle Länder gekürzt. Dies gewährleistet einerseits den Abbau gestützter Exporte, deren Nachhaltigkeit umstritten ist. Andererseits wird dadurch das Biomassepotenzial nicht unbegrenzt auf Kosten der Welternährung erhöht. Für Deutschland und Bayern wird um den Anteil an der Überversorgung in der EU-15 gekürzt (vgl. Tabelle 45).

Tabelle 45: Selbstversorgungsgrade in der Szenarette zu reduzierten Exporten

Produkt	Land	2000	2010	Ab 2020
Getreide	EU 15	112%	100%	100%
	Deutschland	129%	120%	115%
	Bayern	116%	110%	103%
	Polen	98%	105%	105%
	Tschechien	110%	110%	105%
	Ungarn	125%	120%	105%
Zucker	EU 15	137%	100%	100%
	Deutschland	160%	130%	117%
	Bayern	199%	170%	145%
	Polen	111%	95%	90%
	Tschechien	105%	85%	85%
	Ungarn	100%	85%	80%

(Quelle: Für 2000 nach EUROSTAT 2004, ab 2005 eigene Annahmen)

In Polen, Tschechien und Ungarn wird an dieser Stelle die dynamische Entwicklung der Exporte abgeschnitten und nur eine leichte Überversorgung von 105 % zugelassen. Bei Zucker erfolgt eine Reduktion um 10 Prozentpunkte gegenüber dem Referenzszenario.

Zwar werden sich auf den Märkten andere Ex- und Importgleichgewichte innerhalb Europas einstellen, diese Szenarette dient aber als Anhaltspunkt, wie eine stärkere Biomassenutzung die Flächennachfrage ausdehnen kann.

6.1.4 Überblick über die Szenarien

Zum Abschluss der Szenariendefinition werden nun die oben entwickelten Szenarien noch einmal in Tabelle 46 gegenübergestellt. Die Parameter Rindfleischproduktion, Selbstversorgung bei Eiern, Schweine- und Geflügelfleisch und die Intensivierung der konventionellen Landwirtschaft werden in allen Szenarien unverändert fortgeführt.

Tabelle 46: Vergleichender Überblick über die Szenarien

Szenario-bezeichnung	Referenz (REF)	Nachhaltig (NH)	Reduzierte Exporte (NHSV)
Motto	Weiter wie bisher	Konsistente Nachhaltigkeit	Reduktion subventionierter Exporte
Ökologische/ extensive Landwirtschaft	linearer Trend	30 % bis 2030	
Selbstversorgung Getreide	stagnierend (DE, BY) steigend (PL, CZ, HU)	sinkend (DE, BY) stagnierend (PL, CZ, HU)	
Selbstversorgung Zucker	leicht sinkend (DE, BY) stark sinkend (PL, CZ, HU)	stark sinkend	
Flächenverbrauch	stagnierend (DE, BY) stark steigend (PL, CZ, HU)	sinkend (DE, BY) stagnierend (PL, CZ, HU)	
Flächenausweisung für Naturschutz	Trend	verstärkt	
Nutzungsaufgaben	keine	extensives Grünland	
Reststoffnutzung	20% des Strohs	35% des Strohs	

6.2 Ergebnisse der Szenarien

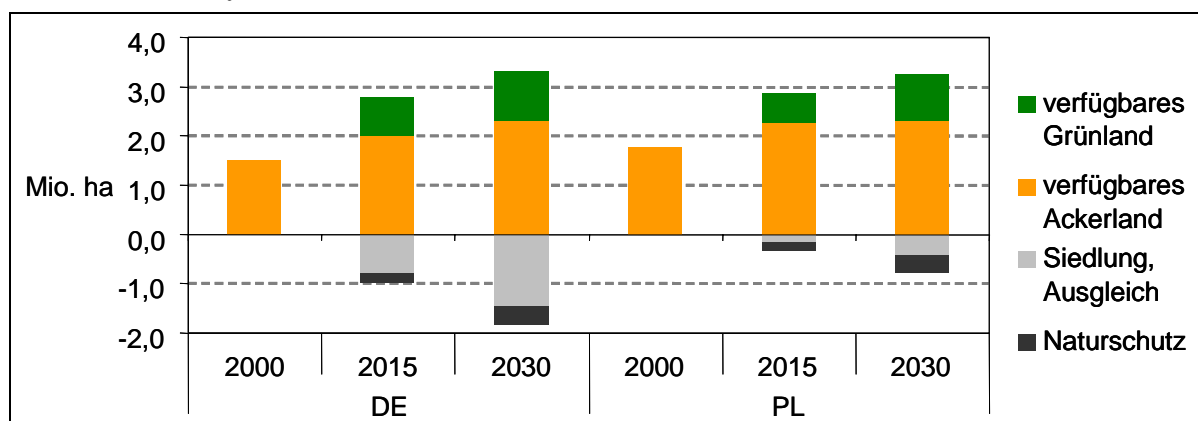
Die Biomassepotenziale aus der Landwirtschaft variieren relativ stark in Abhängigkeit von Zeit und Entwicklungspfad. Zunächst werden für die vergleichbaren Länder jedes Szenario und seine Entwicklungen über den Betrachtungszeitraum vorgestellt. Im Kapitel 7 werden die Ergebnisse dann im Detail diskutiert.

6.2.1 Ergebnisse des Referenzszenarios

6.2.1.1 Anbaupotenziale

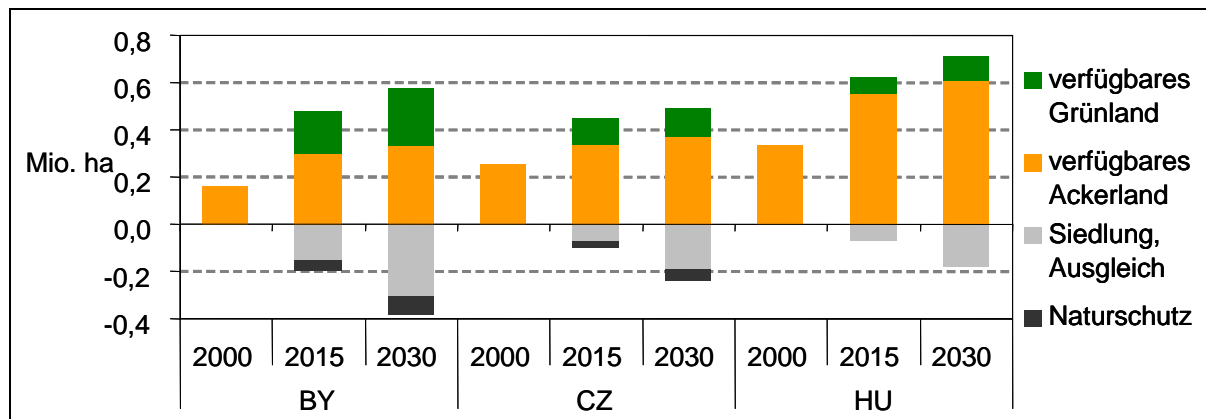
Deutschland und Polen weisen mit 16 bzw. 18 Mio. ha vergleichbare landwirtschaftliche Flächen auf (vgl. Kapitel 5.4.1). Im Referenzszenario steigen die für Biomasse verfügbaren Flächen in beiden Ländern stark an (vgl. Abbildung 40). Ausgehend von der Stilllegungsfläche und dem bestehenden Energiepflanzenanbau in 2000 verdoppelt sich die Fläche bis 2030 in Deutschland und Polen auf 3,3 Mio. ha. Landwirtschaftlich genutzte Fläche wird dabei in noch höherem Maße freigesetzt. In Deutschland scheidet aber über 1/3 des Saldos aus der landwirtschaftlichen Nutzung aus. Polen verliert immerhin noch 20 % des Flächensaldos. Vor allem Siedlung und Verkehr fordern in Deutschland erhebliche Flächen, die zusätzlichen Naturschutzflächen fallen weniger ins Gewicht.

Abbildung 40: Verfügbare Flächen und Nutzungskonkurrenz für Deutschland und Polen im Referenzszenario



Die Vergleichsgruppe mit Bayern (3,2 Mio. ha LF), Tschechien (4,0 Mio. ha LF) und Ungarn (5,9 Mio. ha) zeigt Abbildung 41. In Bayern wirken Siedlung und Verkehr besonders restriktiv auf das Flächenpotenzial. Bis 2030 sind im Referenzszenario 0,6 Mio. ha für die Biomasse verfügbar, bei hohem Grünlandanteil. In Tschechien ergibt sich eine geringere zeitliche Dynamik. Ein großer Teil der freigesetzten Fläche wird vom Flächenverbrauch aufgezehrt. Das Flächenpotenzial summiert sich bis 2030 auf knapp 0,5 Mio. ha. In Ungarn verdoppelt sich das Flächenpotenzial bis dahin auf über 0,7 Mio. ha. Der Grünlandanteil ist hier am niedrigsten.

Abbildung 41: Verfügbare Flächen und Nutzungskonkurrenz für Bayern, Tschechien und Ungarn im Referenzszenario



Die Umrechnung der Flächen in Energiepotenziale erfolgt über einen Anbaumix (vgl. Kapitel 5.7.2.2). Dieser ermöglicht die Fortschreibung der Energiepotenziale entlang der Ertragssteigerung und den Vergleich zwischen den HEKTOR-Ergebnissen der betrachteten Länder. Aus der anteiligen Belegung mit Raps, Zuckerrüben, Silomais, Getreide, Feuchtgut und Kurzumtriebsplantagen sowie Grünschnitt ergeben sich mittlere Primärenergiepotenziale für eine zukünftige Energieversorgung (Tabelle 47).

Tabelle 47: Energiepotenziale aus dem Energiepflanzenanbau im Referenzszenario

Land (Energieverbrauch)	In PJ/a	2000	2015	2030
Deutschland (14.000 PJ/a)	Ackerland	262	419	553
	Grünland	0	51	67
	Gesamt*	262	470	620
Polen (3.700 PJ/a)	Ackerland	234	383	471
	Grünland	0	21	34
	Gesamt*	234	405	506
Bayern (2.100 PJ/a)	Ackerland	30	66	84
	Grünland	0	12	17
	Gesamt*	30	79	102
Tschechien (1.700 PJ/a)	Ackerland	35	55	69
	Grünland	0	4	4
	Gesamt*	35	59	74
Ungarn (1.000 PJ/a)	Ackerland	37	77	98
	Grünland	0	1	1
	Gesamt*	37	78	100

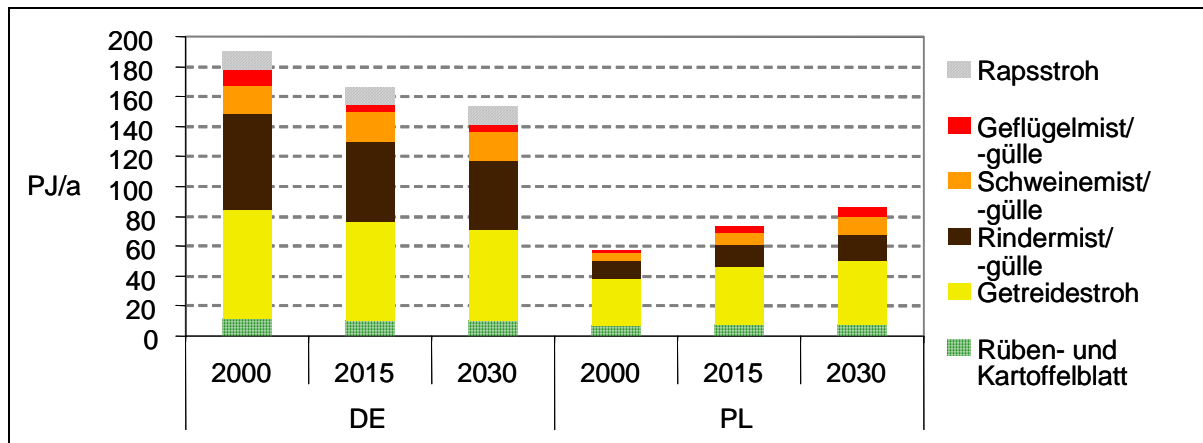
*Abweichung von der Summe durch Runden bedingt

Die Energiepotenziale steigen bis 2030 noch stärker an als die Flächenpotenziale, aufgrund des Ertragszuwachses im Pflanzenbau. Da dieser in den osteuropäischen Ländern von einem niedrigen Niveau startet, bleiben die Energieerträge pro Hektar auch in 2030 hinter Deutschland und Bayern zurück. Bei Grünland macht sich die geringere Produktivität bemerkbar, weswegen es unterproportional zum Energiepotenzial beiträgt. Nur im grünlandreichen Bayern, wo bereits heute hohe Erträge erzielt werden, stellt Grünland mit 17 % einen bedeutenden Anteil des Anbaupotenzials.

6.2.1.2 Reststoffpotenziale

Die Reststoffpotenziale zeigen eine geringere Dynamik als die Flächenpotenziale. Reststoffe liefern in Deutschland nach HEKTOR mit 150 - 190 PJ/a etwa ein doppelt so hohes Potenzial wie in Polen mit 60 - 85 PJ/a (Abbildung 42).

Abbildung 42: Reststoffpotenziale in Deutschland und Polen



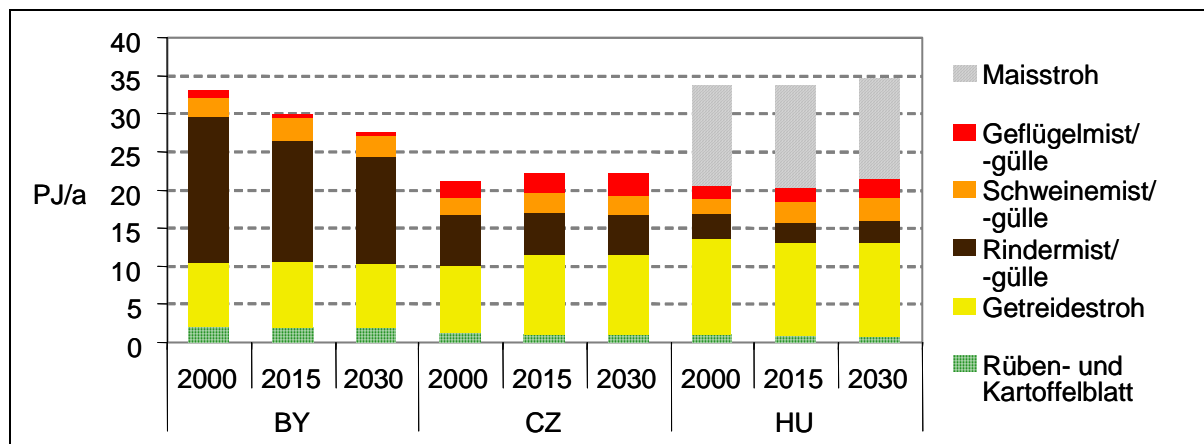
In Deutschland sinkt der Reststoffanfall über die Zeit durch die rückläufige Nahrungsmittelproduktion und die Intensitätssteigerung. Letzteres führt etwa in der Mast zu kürzeren Umtrieben und geringerem Exkrementanfall. Stark wirken sich die sinkenden Rinderbestände auf das Exkrementpotenzial aus (vgl. Kapitel 5.2.2.2). Das Rapsstrohpotenzial (vgl. dazu Kapitel 5.7.1.2), trägt 6 - 8 % zum Reststoffpotenzial bei. Eine Vernachlässigung bei geringerer Anbaufläche, wie in den übrigen betrachteten Länder verzerrt die Potenziale also relativ wenig.

In Polen lässt die zunehmende Nahrungsmittelproduktion auch das Reststoffpotenzial ansteigen. Hier führt der Strukturwandel zu größeren Betrieben und einer besseren Mobilisierbarkeit der Reststoffe. Das relativ geringe Biogaspotenzial aus Gülle und Mist resultiert aus den geringeren und kleinen Beständen. Getreidestroh stellt den größten Einzelposten der pflanzlichen Reststoffe.

In Tschechien und Ungarn bleiben die Reststoffpotenziale über alle Stützzeitpunkte mit ca. 21 - 22 PJ/a bzw. 32 - 35 PJ/a relativ konstant. In Bayern wirkt sich der starke Abbau der Rinderbestände in einem Rückgang der Biogaspotenziale aus der Tierhaltung von 23 PJ/a auf 17 PJ/a sichtbar aus. Im Jahr 2030 liefert die bayerische Tierhaltung aber immer noch eine doppelt so hohes Potenzial im Vergleich zu Tschechien und Ungarn, die geringere Tierbestände aufweisen (Abbildung 43). Eine sinnvolle Nutzung der Exkremente ist innerhalb der dualen Betriebsstruktur vorwiegend auf die großen Betriebe begrenzt.

Das Potenzial an feuchten Ernteresten ist gegenüber Getreidestroh vernachlässigbar. Letzteres ist in allen Ländern annähernd gleich hoch und sehr konstant. Das Potenzial an Körnermaisstroh wurde nur für Ungarn ermittelt, das als einziges der betrachteten Länder hier einen Anbauswerpunkt besitzt (vgl. dazu auch 5.7.1.2). Hier verdoppelt allein das Maisstroh das Strohpotenzial. Eine energetische Nutzung könnte daher trotz technischer Schwierigkeiten, wie etwa der hohen Feuchte interessant werden.

Abbildung 43: Reststoffpotenziale in Bayern, Tschechien und Ungarn



6.2.1.3 Überblick über die Biomassepotenziale im Referenzszenario

Das Potenzial an landwirtschaftlicher Biomasse wächst im Referenzszenario stark. In allen Ländern verdoppeln sich die Energiepotenziale bis 2030. Tabelle 48 zeigt die Gesamtergebnisse der HEKTOR-Berechnungen.

Tabelle 48: Landwirtschaftliche Biomassepotenziale im Referenzszenario (REF)

Land	In PJ/a	2000	2005	2010	2015	2020	2030
Deutschland	Energiepflanzen	262	360	423	470	515	620
	Reststoffe	190	178	175	166	164	154
	Gesamt*	452	538	598	636	678	774
Polen	Energiepflanzen	234	303	361	405	428	506
	Reststoffe	57	62	68	74	80	86
	Gesamt*	290	365	430	478	509	591
Bayern	Energiepflanzen	30	54	70	79	84	102
	Reststoffe	33	32	31	30	30	28
	Gesamt*	63	86	101	108	113	130
Tschechien	Energiepflanzen	35	37	54	59	67	74
	Reststoffe	21	22	22	22	22	22
	Gesamt*	56	59	76	81	89	96
Ungarn	Energiepflanzen	37	65	73	78	86	100
	Reststoffe	34	32	33	34	34	35
	Gesamt*	71	97	106	111	120	134

*Abweichung von der Summe durch Runden bedingt

Im Referenzszenario übertrifft das zukünftige Energiepotenzial aus Anbaubiomasse das Reststoffpotenzial bei weitem (Abbildung 44 und Abbildung 45). Am deutlichsten zeigt sich dies in Polen, wo zu Beginn ein 1/4 des Energiepotenzials aus Reststoffen stammt. Trotz ansteigender Mobilisierung fällt der Anteil bis 2030 auf 15 % der insgesamt ca. 590 PJ/a. In Deutschland stellen Reststoffe derzeit knapp die Hälfte des gesamten Potenzials. Im Jahr 2030 liefern Energiepflanzen dann über 80 % der 774 PJ/a. Ähnlich ist die Situation in den übrigen betrachteten Ländern. Zu Beginn liefern Reststoffe etwa die Hälfte des Potenzials. Bis zum letzten Stützzeitpunkt wandelt sich das Verhältnis dann zu 3/4 Energiepflanzen zu 1/4 Reststoffe.

Abbildung 44: Energiepotenziale für Deutschland und Polen im Referenzszenario

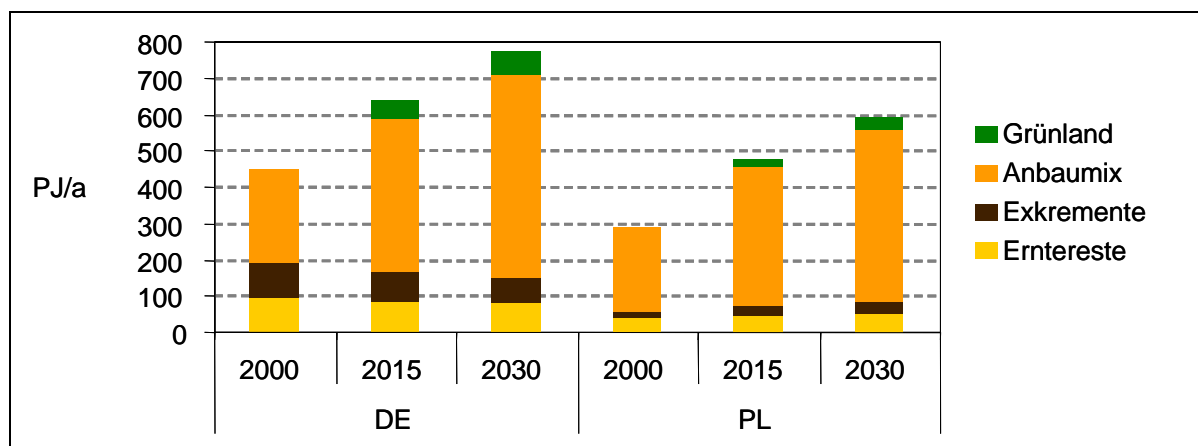
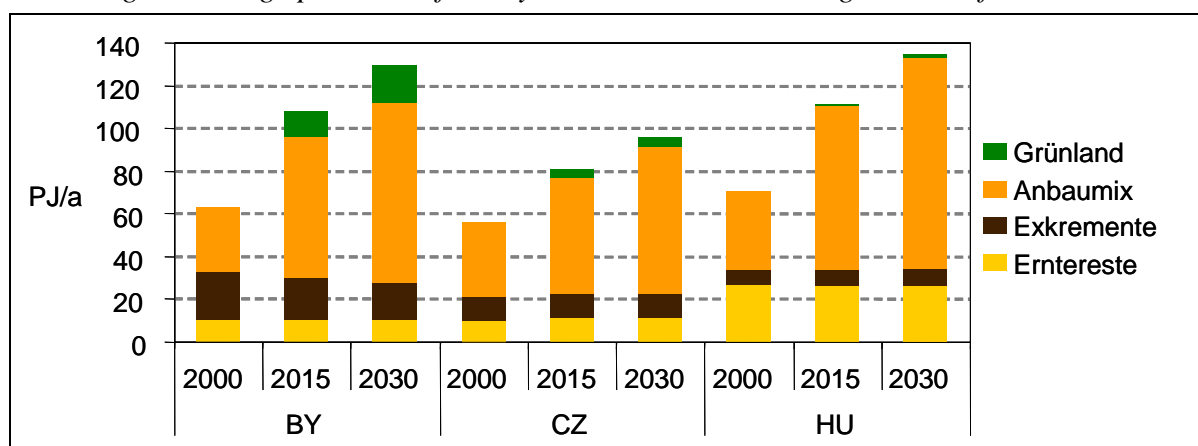


Abbildung 45: Energiepotenziale für Bayern, Tschechien und Ungarn im Referenzszenario



Zum Abschluss des Referenzszenarios werden nun die wichtigsten Schlussfolgerungen dieses Kapitels zusammengefasst. Ein Gesamtfazit wird dann in Kapitel 7 gezogen.

Zwischenfazit

Die landwirtschaftlichen Reststoffe stellen ein *verlässliches* Potenzial dar, auf das über den gesamten Betrachtungszeitraum konstant zurückgegriffen werden kann. Das Reststoffpotenzial ist in seiner Höhe jedoch sehr *begrenzt*.

Die Anbaupotenziale entwickeln eine wesentlich stärkere Dynamik. Diese entsteht durch die wachsende Verfügbarkeit an Flächen einerseits und durch den Ertragszuwachs andererseits. Einen entsprechenden Ausbau der energetischen Biomassenutzung vorausgesetzt, wird 2030 der wesentlich größere Anteil der Bioenergie aus dem Anbau von Energiepflanzen stammen.

6.2.1.4 Sensitivitätsanalyse

Um die Relevanz der variablen Modellparameter für die Gestaltung weiterer Szenarien zur prüfen, wurde eine Sensitivitätsanalyse durchgeführt. Diese zeigt die Abhängigkeit des landwirtschaftlichen Biomassepotenzials von einzelnen Faktoren der Produktion bzw. der Landnutzung. Innerhalb der Sensitivitätsanalyse wurden folgende Parameter der tierischen

und pflanzlichen Erzeugung ausgewählt, die entweder keinem klaren Trend folgen oder durch eine Änderung der Agrarpolitik erheblich beeinflusst werden:

- Selbstversorgungsgrade
- Rindfleischproduktion
- Ökologischer Landbau und Extensivierung

Zusätzlich wurden die außerlandwirtschaftlichen Modellparameter Flächenverbrauch und Naturschutzflächen auf ihre Sensitivität hin überprüft. Für beide wurden zwar Trends für die zukünftige Entwicklung berechnet, die Datenlage dafür ist aber vor allem in den neuen EU-Mitgliedsstaaten ungenügend.

Die zeitliche Dynamik der Biomassepotenziale bildet die Sensitivitätsanalyse durch die zwei Stützzeitpunkte 2015 und 2030 ab. Alle Parameter wurden gegenüber dem Referenzszenario um 10 % variiert. Da die Selbstversorgungsgrade in der Vergangenheit oft stärker schwankten erfolgte eine zweite, stärkere Variation um 20 Prozentpunkte. Die Veränderungen wurden für Reststoffe und Anbau betrachtet. Einzelne Parameter wirken gegensätzlich auf beide Sektoren: Eine Verringerung der Selbstversorgung mit Getreide führt zu höheren Flächenpotenzialen, aber geringerem Reststrophotenzial.

Keine der beschriebenen Variationen wirken sich erheblich auf das Reststoffpotenzial aus, dessen Abweichung unter 5 - 10 % bleibt; einzige Ausnahme ist eine Absenkung der Getreideselbstversorgung in Polen um 20 Prozentpunkte, die das Reststoffpotenzial um 12 % senkt. Das Flächen- und Anbaupotenzial wird dagegen wesentlich stärker beeinflusst. Für die abschließende Bewertung der Abweichung (vgl. Tabelle 49) wurde daher die Wirkung auf das Gesamtpotenzial betrachtet. Dieses Vorgehen integriert auch die über die Zeit sinkende Bedeutung der Reststoffpotenziale gegenüber den Anbaupotenzialen.

Selbstversorgungsgrade

Eine wichtige Größe in der Sensitivitätsanalyse sind die Selbstversorgungsgrade einzelner Lebensmittel. Diese schwanken bei langfristig steigender Gesamtversorgung mit Lebensmitteln in der EU stark von Jahr zu Jahr (vgl. dazu Abbildung 17). Im Modell werden neben Getreide und Zucker auch Schweinefleisch, Geflügelfleisch und Eier untersucht.

Der wichtigste Einflussfaktor ist die Selbstversorgung mit Getreide, das den größten Anteil der Ackerflächen belegt und einen großen Anteil in der Viehfütterung einnimmt. Die 10 % geringere Selbstversorgung führt zu einem um 15 - 25 % höheren Biomassepotenzial in allen Ländern. Eine Variation um 20 Prozentpunkte wirkt sich am stärksten in Polen aus, wo das Energiepotenzial um 30 - 45 % steigt. Die übrigen Länder reagieren mit einer Schwankung um 19 - 36 %. Damit übertrifft die Potenzialänderung die Ausgangsvariation erheblich. Die Szenarete zur Exportreduktion geht auch aufgrund der großen Bedeutung der Getreideselbstversorgung darauf genauer ein.

Die Änderung der Selbstversorgung mit Schweinefleisch wirkt sich weniger auf das Anbaupotenzial aus: Die Abweichung der Energiepotenziale bleibt hinter der Ausgangsvariation zurück. Nur in Polen und Ungarn sinkt das Energiepotenzial bei einer 10 % geringeren Selbstversorgung ähnlich stark. Die Variation der Geflügelfleisch- und Eierselbstversorgung führte generell zu einer sehr geringen Abweichung der Energiepotenziale. Da diese Sektoren

gleichzeitig eher wenig durch die Agrarpolitik beeinflusst werden, sind diese Parameter in den Szenarien von untergeordneter Bedeutung. Dies gilt auch für die Selbstversorgung mit Zucker. Selbst bei einer Verringerung um 20 % erhöht sich das Energiepotenzial in allen Ländern um weniger als 2 %.

Rindfleischproduktion

In HEKTOR wird Produktionsmenge von Rindfleisch von außen vorgegeben. In der Sensitivitätsanalyse wird daher eine Variation der Produktion um 10 % untersucht. Diese führt in Deutschland, Bayern, Polen und Tschechien zu einer starken Veränderung des verfügbaren Grünlands, das aber untergeordnete Bedeutung für die Energiepotenziale besitzt. Ein Produktionsrückgang um 10 % erhöht das Biomassepotenzial für Bayern und Tschechien um bis zu 14 %, in Deutschland und Polen um 5 - 8 %. In Ungarn ergibt sich nur einer Erhöhung um 3 %. Die Sensitivität nimmt zudem im Lauf der Zeit ab.

Ökologischer Landbau und Extensivierung

Die Intensität der Bewirtschaftung ist ein wichtiger Faktor für die Weiterentwicklung der Biomassepotenziale aus Energiepflanzen. In der Sensitivitätsanalyse wird diesbezüglich zwischen der Entwicklung des ökologischen Landbaus, der derzeit noch geringe Flächen einnimmt und einer großflächigen Extensivierung unterschieden.

Weicht der Ökolandbau in seiner Flächenentwicklung vom aktuellen Entwicklungspfad um 10 % ab, so wirkt sich das kaum auf das Flächenpotenzial aus. Dagegen würde eine Zielsetzung von 30 % Flächenanteil für den ökologischen Landbau, das Flächen- und Anbaupotenzial erheblich verringern. Dies entspräche einer massiven Extensivierung des Ackerbaus, wie sie theoretisch als Folge der Entkopplung diskutiert wurde (Isermeyer 2003a). Solche Extensivierungstendenzen können in HEKTOR in der Dateneingabe durch eine Verschiebung der Anteile an konventionellem Pflanzenbau (höheres Ertragspotenzial) und extensiver Landwirtschaft (geringeres Ertragspotenzial) erzeugt werden.²⁴

Für die Sensitivitätsanalyse wird angenommen, dass die extensive Bewirtschaftung gegenüber dem aktuellen Entwicklungspfad um 10 Prozentpunkte ausgedehnt wird. In der Folge gehen die Flächenpotenziale um 20 - 40 % zurück, in Tschechien und Ungarn sogar um 40 - 60 %. Dies zeigt, wie stark zukünftig extensive Landwirtschaft und Bioenergieerzeugung konkurrieren könnten. Die Ausdehnung der extensiven Landwirtschaft ist daher ein zentraler Parameter im Nachhaltigkeitsszenario.

Naturschutzflächen und Flächenverbrauch

Neben den landwirtschaftlichen Parametern beeinflusst auch die außerlandwirtschaftliche Nachfrage das Flächenangebot, nicht aber Reststoffangebot aus der Nahrungsmittelproduktion. Eine Abweichung von 10 % vom Entwicklungspfad der Naturschutzflächen im Referenzszenario verändert das Anbaupotenzial um weniger als 1 %. Eine Verdoppelung der Ausweisung von Naturschutzflächen²⁵ verringert das Biomassepotenzial um 5 - 10 %, in Bayern und Ungarn um bis zu 15 %.

²⁴ Diese Variation deckt auch Abweichung von der Ertragsfortschreibung in HEKTOR ab.

²⁵ Für Ungarn erfolgt im Referenzszenario keine Ausdehnung der Naturschutzflächen. In der Sensitivitätsanalyse

Eine Veränderung des Flächenverbrauchs wirkt sich langfristig hauptsächlich in Deutschland und Bayern aus. Nimmt der Verbrauch um 2 % gegenüber dem Referenzszenario zu, sinkt das Anbaupotenzial bis 2030 schon um über 10 %. In Polen, Tschechien und Ungarn beeinflusst der Flächenverbrauch das Potenzial weniger, da er generell geringer ist und keine Ausgleichsflächen bereitgestellt werden müssen.²⁶ Aus dieser Sensitivitätsanalyse ergibt sich damit für die betrachteten Parameter eine Hierarchie des Einflusses auf das Energiepotenzial in HEKTOR, die Tabelle 49 im Überblick zusammenfasst.

Tabelle 49: Überblick über die Sensitivität ausgewählter Parameter in HEKTOR

Variable	Deutschland	Bayern	Polen	Tschechien	Ungarn
Selbstversorgung Getreide	+	++	++	++	++
Extensivierung	++	+	+	+	+
Selbstversorgung Schweinefleisch	0	0	+	0	+
Rindfleischproduktion	0	+	0	+	0
Mehr Naturschutzflächen	+	+	0	0	+
Flächenverbrauch Siedlung/Verkehr	+	+	0	0	0
Milchleistung; Ökolandbau; Selbstversorgung Zucker, Geflügelfleisch, Eier	0	0	0	0	0

0: wenig Einfluss; +: mittlerer Einfluss; ++ großer Einfluss

Zwischenfazit

Den größten Einfluss auf die Biomassepotenziale übt die Ausgestaltung der pflanzlichen Erzeugung aus. Von besonderer Bedeutung sind dabei die Entwicklung der Selbstversorgung mit Getreide, das die größten Anbauflächen einnimmt sowie die großflächige Weiterentwicklung der Anbauintensität (Intensivierung bzw. Extensivierung).

Auch die Schweine- und Rindfleischerzeugung zeigen eine relevante Flächenwirkung. Die außerlandwirtschaftlichen Parameter und der ökologische Landbau können das Anbaupotenzial nur beeinflussen, wenn sich extreme Entwicklungen ergeben. Aus der Zucker-, Geflügelfleisch- und Eierproduktion sind keine größeren Impulse zu erwarten. Für die Szenarioentwicklung sind daher vor allem die Weiterentwicklung der Getreideexporte und die großflächige Ausdehnung einer extensiven Landwirtschaft von Interesse.

wird daher die Flächenausweisung analog zu Tschechien übernommen.

²⁶ Die fehlenden Ausgleichsflächen binden in Polen, Tschechien und Ungarn zwar keine Flächen, der Funktionserhalt für die Umwelt durch diese Ausgleichsflächen fehlt dadurch aber.

6.2.2 Ergebnisse des Nachhaltigkeitsszenarios

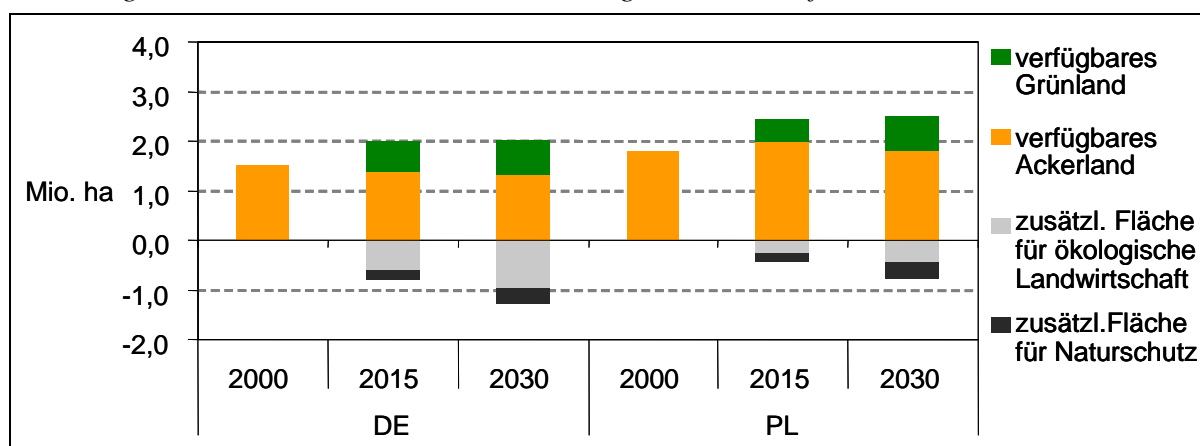
Im Nachhaltigkeitsszenario, das in Kapitel 6.1.2 definiert wurde, wirken verschiedene Faktoren hemmend oder verstärkend auf das Biomassepotenzial. Um die einzelnen Wirkungen analysieren zu können, werden die Parameter in Einzelschritten variiert und vorgestellt. Einen Szenariovergleich zeigt Kapitel 7.1.

6.2.2.1 Konkurrierende Faktoren

Konkurrenz für das Biomassepotenzial entsteht im Nachhaltigkeitsszenario innerhalb und außerhalb der Landwirtschaft. Die Ausdehnung extensiver Landwirtschaft auf 30 % der Fläche und der Erhalt extensiven Grünlands führen zu einer höheren Flächennachfrage bei gleich bleibender Produktion. Dies wirkt sich besonders negativ auf das Flächenpotenzial aus. Der Reststoffanfall ist davon nur wenig betroffen.

Zudem konkurriert eine beschleunigte Ausweisung von Naturschutzflächen mit den verfügbaren Anbauflächen. Das Reststoffpotenzial aus der Nahrungsmittelproduktion bleibt dabei konstant. Abbildung 46 und Abbildung 47 zeigen, welche Flächenpotenziale für die Konkurrenzfaktoren eingesetzt werden und wie viel für die Biomasseerzeugung verbleibt.

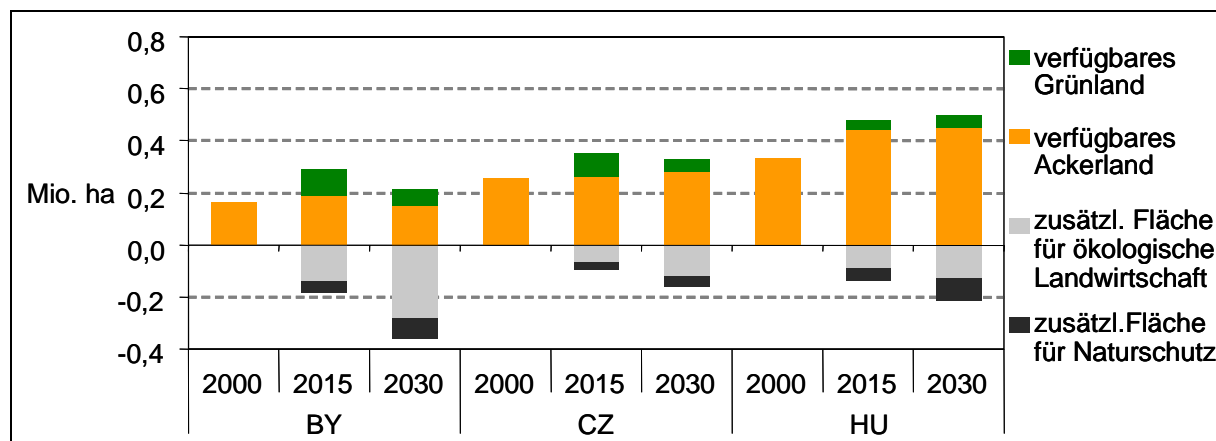
Abbildung 46: Flächenkonkurrenz im Nachhaltigkeitsszenario für Deutschland und Polen



Die Ausdehnung des ökologischen Landbaus braucht die zukünftig durch den Ertragszuwachs freiwerdenden Flächen zum großen Teil wieder auf. In der Folge schwankt das verfügbare Ackerland um das Niveau von 2000, nach 2010 sinkt es sogar wieder etwas ab. Auch Grünland wird durch die extensive Milch- und Rindfleischproduktion bis zum Ende des Betrachtungszeitraums wieder stärker nachgefragt. In Deutschland sind 2030 insgesamt 2 Mio. ha verfügbar. In Polen wird das *high nature value farming* auf die Extensivierungsforderung angerechnet, weswegen das Flächenpotenzial immerhin auf 2,5 Mio. ha steigt.

Für Bayern verhält sich das Flächenpotenzial ähnlich wie in Deutschland, bis 2030 verbleiben nur 0,2 Mio. ha. In Tschechien erreicht bereits das Referenzszenario einen Anteil an extensiver Landwirtschaft von über 20 %. Daher wird das Flächenpotenzial kaum eingeschränkt und beträgt noch 0,3 Mio. ha in 2030. Auch in Ungarn besteht ein hoher Anteil an *high nature value farming*, der im Nachhaltigkeitsszenario konstant beibehalten wird. Bei dem verbleibenden Ziel von 10 % extensiver Landwirtschaft und zunehmenden Naturschutzflächen bis 2030 reduziert sich das Flächenpotenzial dennoch um 1/3 auf 0,5 Mio. ha.

Abbildung 47: Flächenkonkurrenz im Nachhaltigkeitsszenario für Bayern, Tschechien und Ungarn



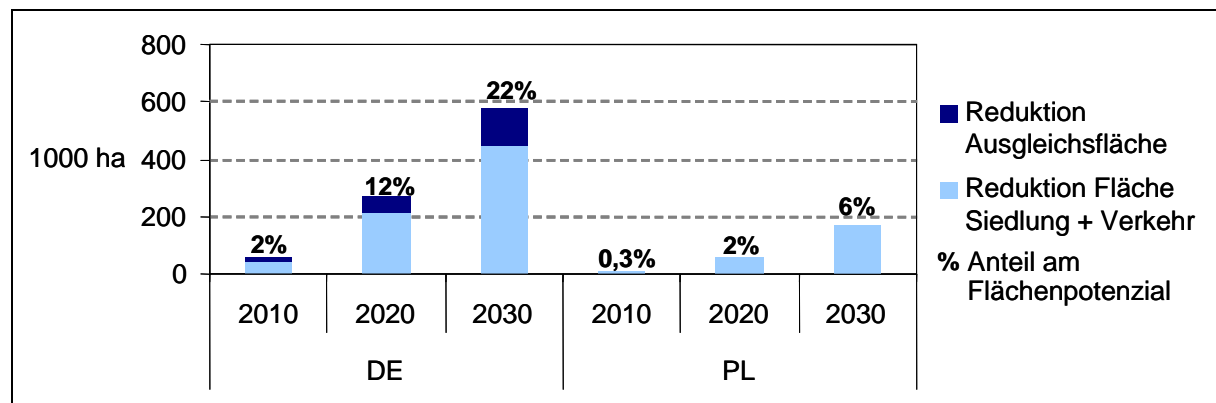
Die Bewirtschaftungsauflagen für Grünland wirken sich kaum aus, da das Grünlandpotenzial generell gering ist. Die Wirkung sinkender Anbaupotenziale wird etwas durch den weitgehend konstanten Reststoffanfall abgemildert.

Auch unter Berücksichtigung der Reststoffe wird das Energiepotenzial durch die Extensivierung auf bis zu 30 % der Fläche erheblich eingeschränkt. Die Flächenkonkurrenz im Nachhaltigkeitsszenario wirkt sich am stärksten in Deutschland und Bayern aus, die bereits eine sehr intensive Landwirtschaft aufweisen. Hier verringert sich das Energiepotenzial bis 2030 gegenüber dem Referenzszenario um 35 % bzw. 50 %. In den betrachteten Ländern Osteuropas stehen immerhin noch 75% des Potenzials zur Verfügung, da weniger Fläche zusätzlich extensiviert wird (vgl. auch Kapitel 6.1.2.1).

6.2.2.2 Verstärkende Faktoren

Eine nachhaltigere Entwicklung führt nicht nur zu Konkurrenzbeziehungen mit dem Biomassepotenzial, sondern auch zu Synergien. Ein reduzierter Flächenverbrauch für Siedlung und Verkehr entschärft die Flächenkonkurrenz und durch die verstärkte Nutzung erneuerbarer Energien werden weitere Reststoffpotenziale erschlossen. Im Nachhaltigkeitsszenario wird der Flächenverbrauch in Deutschland und Bayern reduziert, in den übrigen Ländern stagniert er (vgl. Kapitel 6.1.2). Dies kann vor allem in Deutschland einen erheblichen Beitrag zum Flächenpotenzial liefern (Abbildung 48).

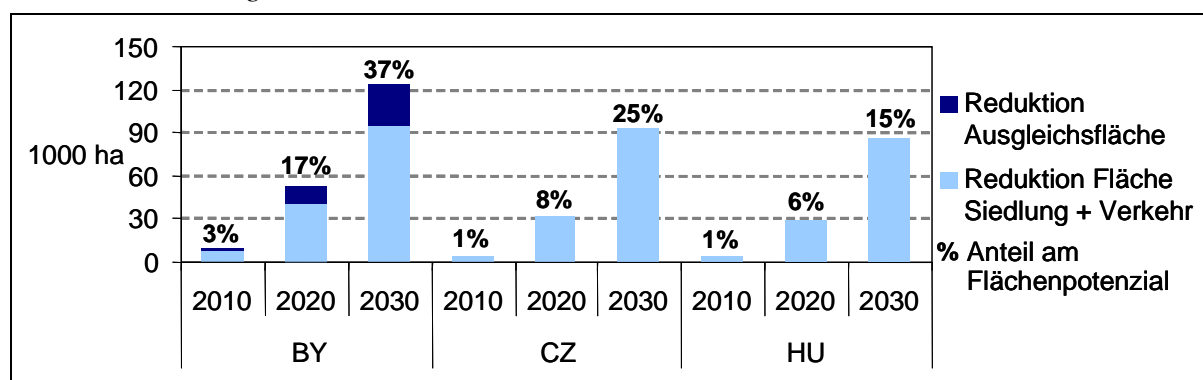
Abbildung 48: Flächenwirkung des reduzierten Flächenverbrauchs in Deutschland und Polen



Diese bleiben dennoch hinter den zusätzlich nachgefragten Flächen für extensive Landwirtschaft und Naturschutz zurück. In Deutschland könnten letztere nur durch einen doppelt so starken Rückgang des Flächenverbrauchs aufgewogen werden. In Polen würde sogar ein völliger Verzicht auf weiteren Flächenverbrauch die Flächenkonkurrenz nicht vollständig ersetzen. Im Nachhaltigkeitsszenario werden aber zumindest 20 % ausgeglichen.

In Bayern und Tschechien gleicht der reduzierte Flächenverbrauch des Nachhaltigkeitsszenarios etwa ein Drittel der Flächenkonkurrenz mit extensiver Landnutzung aus (vgl. Abbildung 49). In Ungarn können so immerhin 40 % ersetzt werden. In keinem Land kann der geringere Flächenverbrauch des Nachhaltigkeitsszenarios genug Flächen freisetzen, um die Extensivierung völlig zu kompensieren.

Abbildung 49: Flächenwirkung des reduzierten Flächenverbrauchs in Bayern, Tschechien und Ungarn



Über alle Länder hinweg betrachtet reduziert das Nachhaltigkeitsszenario die Flächen- und Anbaupotenziale gegenüber dem Referenzszenario. Dies kann zum Teil durch eine bessere Reststoffnutzung aufgewogen werden. Im Referenzszenario liefert Stroh bei einer Mobilisierung von 20 % bereits den größten Einzelbeitrag zum Reststoffpotenzial. Werden stattdessen im Nachhaltigkeitsszenario 35 % des Strohs genutzt, so steigt das Energiepotenzial erheblich. Tabelle 50 zeigt die zusätzlich mobilisierten Energiepotenziale im Nachhaltigkeitsszenario.

Tabelle 50: Zusätzliches Reststoffpotenzial im Nachhaltigkeitsszenario für 2000 - 2030

Land	PJ/a	Anteil am Reststoffpotenzial [%]
Deutschland	70-80	~30%
Polen	40-45	~40%
Bayern	8-11	~30%
Tschechien	9-11	~30%
Ungarn	22-23	~40%

Analog zum Referenzszenario ergibt sich nur eine geringe Dynamik im zusätzlichen Reststoffpotenzial. Gegenüber dem Referenzszenario steht nun 23 - 40 % mehr Energie aus Reststoffen zur Verfügung. Dies schwächt den Verlust an Biomassepotenzial ab, der durch die Flächenkonkurrenz entsteht. Nur in Ungarn kann er vollständig ausgeglichen werden. In Tabelle 51 sind die Energiepotenziale aus Reststoffen und Energiepflanzen noch einmal zusammengefasst.

Tabelle 51: Landwirtschaftliche Biomassepotenziale im Nachhaltigkeitsszenario (NH)

	In PJ/a	2000	2005	2010	2015	2020	2030
Deutschland	Energiepflanzen	262	329	347	352	362	462
	Reststoffe	269	254	250	241	237	223
	Gesamt*	531	583	597	592	599	685
Polen	Energiepflanzen	234	284	324	351	352	413
	Reststoffe	96	104	111	117	124	130
	Gesamt*	329	388	434	467	477	543
Bayern	Energiepflanzen	30	46	53	54	50	62
	Reststoffe	44	43	41	40	39	36
	Gesamt*	73	89	95	93	88	98
Tschechien	Energiepflanzen	35	35	46	48	53	59
	Reststoffe	30	32	32	33	33	33
	Gesamt*	66	68	79	80	85	92
Ungarn	Energiepflanzen	37	57	63	63	68	83
	Reststoffe	56	54	55	56	56	57
	Gesamt*	93	111	118	119	124	140

*Abweichung von der Summe durch Runden bedingt

Ausgehend von einem relativ hohen Startpotenzial im Jahr 2000 entwickelt sich im Nachhaltigkeitsszenario eine geringere Dynamik als im Referenzszenario. Das Energiepotenzial steigt bis 2030 um 25 - 60 % an. In Bayern sinkt das Potenzial 2020 zwischenzeitlich sogar wieder ab, sobald die Extensivierung in starke Konkurrenz zum Biomassepotenzial tritt.

Zwischenfazit

Das Nachhaltigkeitsszenario zeigt, dass unterschiedliche ökologische Ziele – Naturschutz und Klimaschutz – im Rahmen der Flächennutzung in Konflikt geraten können. Eine großflächige Extensivierung der Pflanzenproduktion schränkt die Flächenpotenziale stark ein.

Ansatzpunkte zur Entschärfung der Konkurrenz zwischen Biomassepotenzial und Naturschutz sind eine verstärkte Reststoffnutzung und die Reduktion des Flächenverbrauchs. Für die Auflösung des Konflikts sind politische Strategien gefragt, die eine Koexistenz ermöglichen.

6.2.3 Ergebnisse der Szenarete zu reduzierten Nahrungsmittlexporten

Neben der Extensivierung ist die zukünftige Selbstversorgungsquote (SV) mit Getreide der wichtigste Einflussfaktor für die Biomassepotenziale (vgl. Kapitel 6.2.1.4). In der Szenarete zu reduzierten Nahrungsmittlexporten (NHSV) wird auf Exporte verzichtet, für die in der Vergangenheit häufig Exportsubventionen eingesetzt wurden (vgl. Kapitel 6.1.3). Diese Szenarete reduziert die Selbstversorgung an Zucker und Getreide nur soweit, dass keine Exporte aus der EU auf den Weltmarkt stattfinden bzw. die Exporte einzelner Länder nicht ausgedehnt werden.

Abbildung 50 und Abbildung 51 zeigen die Effekte eines solchen Verzichts auf Getreide- und Zuckereporte. Diese konzentrieren sich vor allem auf das Flächenpotenzial. Das Reststoffpotenzial ist von der veränderten Nahrungsmittelproduktion kaum betroffen. Extra ausge-

wiesen werden diejenigen Flächen, die gegenüber dem oben beschriebenen Nachhaltigkeitsszenario hinzukommen.

Deutschland werden im Referenzszenario zukünftig begrenzte Exportchancen zugerechnet. Eine Exportreduktion kann daher auch nur begrenzt Fläche freisetzen. 2030 ergibt sich ein Flächenzuschlag von ca. 20 % auf die verfügbaren Flächen im Nachhaltigkeitsszenario. Bayern könnte auf diese Weise etwa 30 % mehr Fläche für Energiepflanzenanbau verfügbar machen. In Tschechien würde ein Flächenaufschlag von 60 % auf das relativ geringe Flächenpotenzial des Nachhaltigkeitsszenarios möglich.

Abbildung 50: Flächenfreisetzung bei Exportreduktion in Deutschland und Polen

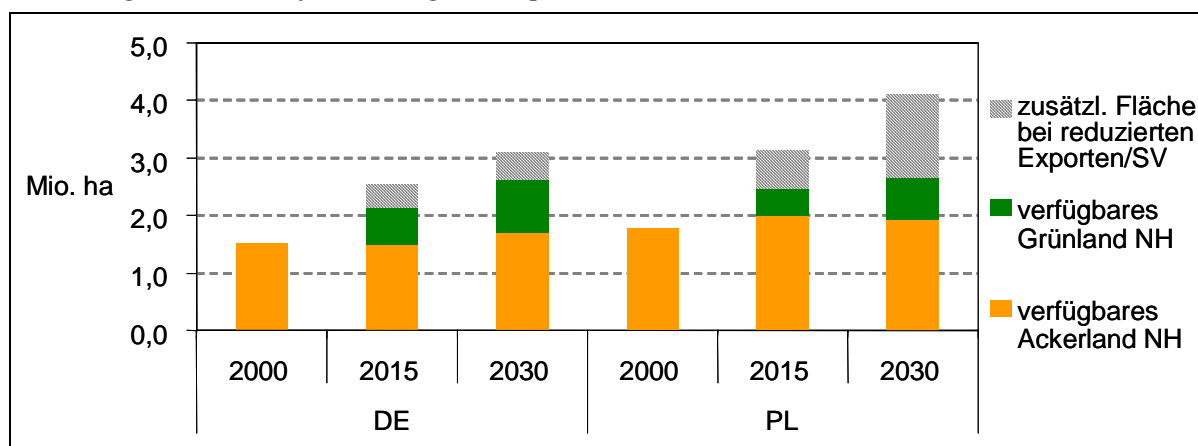
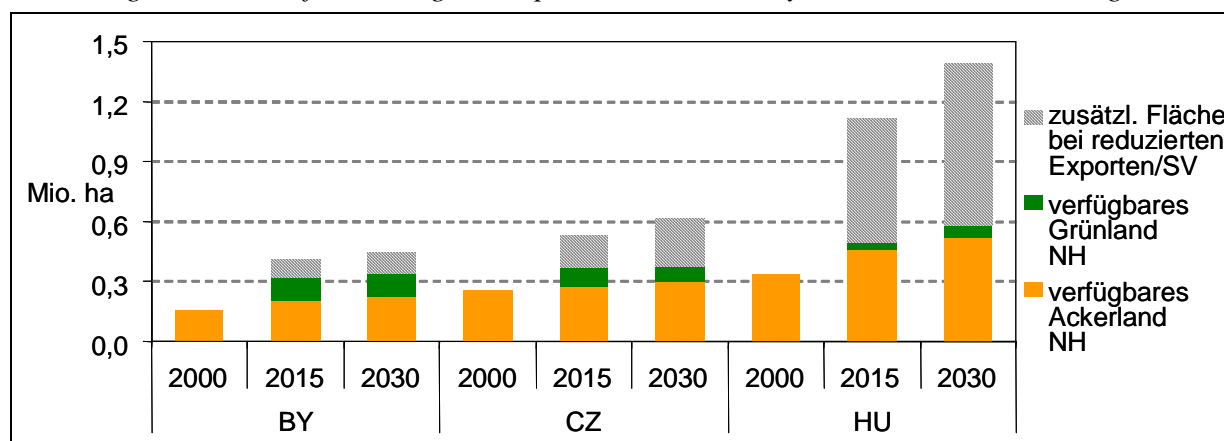


Abbildung 51: Flächenfreisetzung bei Exportreduktion in Bayern, Tschechien und Ungarn



Bedeutende Flächen werden hingegen in Polen und Ungarn frei, wenn die zukünftigen Getreideexporte gekappt und in die Energieerzeugung umgeleitet werden. In Polen wächst das Flächenpotenzial bis 2030 um über 50 % gegenüber dem Nachhaltigkeitsszenario. Dies wird durch die Auswirkung in Ungarn noch übertroffen. Hier steigt das Flächenpotenzial um 140%. Die zusätzlich freigesetzten Flächen sind Ackerflächen, die hohe Biomasseerträge leisten können. Daher ergeben sich auch starke Effekte für das Energiepotenzial, wie Tabelle 52 im Überblick zeigt.

Die Getreideexporte entwickeln im Referenzszenario eine erhebliche Dynamik. Werden diese nun in die Bioenergieerzeugung umgeleitet, so überträgt sich diese Dynamik auf das Energiepotenzial. In Deutschland und Bayern wächst das Bioenergiepotenzial aus der Landwirtschaft

bis 2030 um 50 % bzw. 70 %. In den betrachteten neuen EU-Mitgliedsstaaten bringt der gleiche Zeitraum mindestens eine Verdopplung. Am deutlichsten steigt das Energiepotenzial in Ungarn an, wo 2030 das 2,8-fache Biomassepotenzial in die Energieversorgung eingebracht werden kann.

Tabelle 52: Landwirtschaftliche Biomassepotenziale in der Szenarettre zu reduzierten Exporten (NHSV)

Land	In PJ/a	2000	2005	2010	2015	2020	2030
Deutschland	Energiepflanzen	262	329	401	433	477	580
	Reststoffe	269	254	243	231	224	211
	Gesamt*	531	583	644	664	700	790
Polen	Energiepflanzen	234	284	380	464	528	697
	Reststoffe	96	104	106	109	113	112
	Gesamt*	329	388	486	572	641	809
Bayern	Energiepflanzen	30	46	63	75	76	90
	Reststoffe	44	43	40	37	36	33
	Gesamt*	73	89	104	112	112	123
Tschechien	Energiepflanzen	35	35	59	74	83	102
	Reststoffe	30	32	31	30	30	29
	Gesamt*	66	68	90	104	113	131
Ungarn	Energiepflanzen	37	57	115	148	176	211
	Reststoffe	56	54	51	49	48	48
	Gesamt*	93	111	165	197	224	259

Zwischenfazit

Der Verzicht auf Getreide- und Zuckerexporte steigert das Biomassepotenzial erheblich. Diese zusätzlichen Energiepotenziale können die Auswirkung der Extensivierung mehr als ausgleichen. Die Flächenfreisetzung zeigt, welche Spielräume für die Biomassepotenziale zukünftig bestehen. Insbesondere wenn sich bei steigenden Energiepreisen zwischen Energie- und Nahrungsmittelerzeugung Konkurrenzbeziehungen ergeben, kann es zu einer Umwidmung von Nahrungsmittelflächen kommen. Diese kann zunächst zu einer Entlastung übertensorgter Nahrungsmittelmärkte führen. Eine großflächige Umwidmung ist jedoch mit höheren Lebensmittelimporten verbunden, die Flächen im Ausland nachfragen. Diese sind dann innerhalb globaler Nachhaltigkeitsbetrachtungen zu berücksichtigen.

Im folgenden Kapitel *Diskussion und Schlussfolgerungen* werden die verschiedenen Szenarien ausführlich untereinander und zwischen den betrachteten Ländern verglichen. Hier folgt auch die Einordnung der Potenziale in den Kontext anderer Studien und in den großen Rahmen der Energieversorgung.

7 Diskussion und Schlussfolgerungen

Die betrachteten Szenarien reflektieren unterschiedliche politische Rahmenbedingungen. Daraus resultieren Biomassepotenziale, welche die Länder zukünftig selbst für die Energieversorgung bereitstellen können und die in Kapitel 6 vorgestellt wurden.

Im Folgenden werden die Ergebnisse eingeordnet und diskutiert. Dazu sind die Ergebnisse der Potenzialberechnungen in der Tabelle 53 noch einmal nach Ländern im Überblick zusammengefasst. Die Tabelle zeigt dabei das gesamte Bioenergiepotenzial, wie es sich im Referenzszenario (REF), dem Nachhaltigkeitsszenario (NH) und in der Szenarette mit reduzierten Exporten (NHSV) entwickelt. Die Potenziale stellen die Summe aus den verschiedenen Reststoffen und dem Energiepflanzenanbau dar.

Tabelle 53: Überblick über die Energiepotenziale aller Szenarien

In PJ/a	Szenario	2000	2005	2010	2015	2020	2030
Deutschland	REF	452	538	598	636	678	774
	NH	531	583	597	592	599	685
	NHSV	531	583	644	664	700	790
Polen	REF	290	365	430	478	509	591
	NH	329	388	434	467	477	543
	NHSV	329	388	486	572	641	809
Bayern	REF	63	86	101	108	113	130
	NH	73	89	95	93	88	98
	NHSV	73	89	104	112	112	123
Tschechien	REF	56	59	76	81	89	96
	NH	66	68	79	80	85	92
	NHSV	66	68	90	104	113	131
Ungarn	REF	71	97	106	111	120	134
	NH	93	111	118	119	124	140
	NHSV	93	111	165	197	224	259

Zunächst werden die Spannbreiten zwischen den Szenarien betrachtet. Diesen werden bisherige Potenzialabschätzungen in der Literatur gegenübergestellt. Schließlich wird analysiert, welche Bedeutung die Biomasse in den ausgewählten Ländern innerhalb der Energieversorgung einnehmen kann.

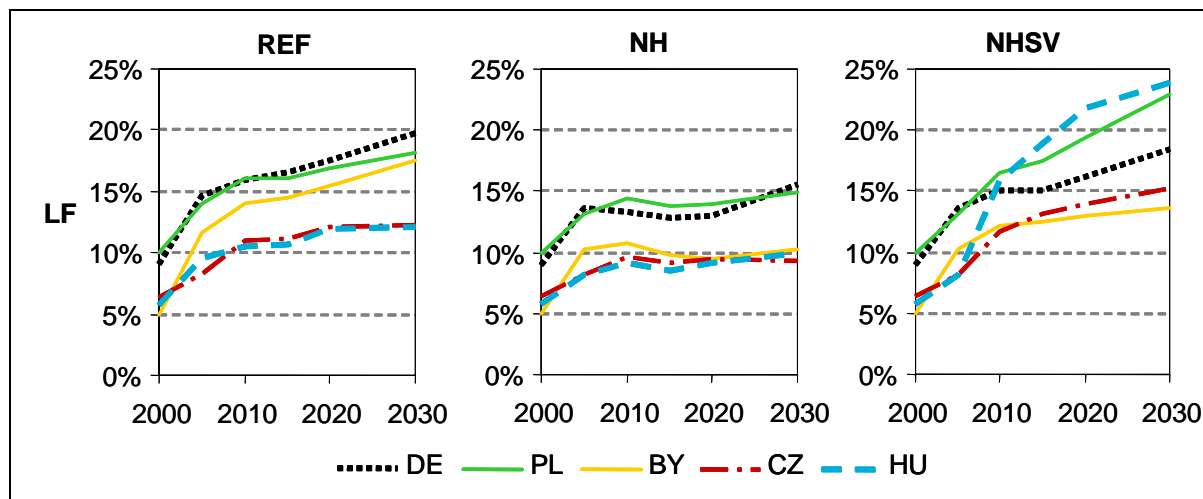
7.1 Vergleich zwischen Referenz- und Nachhaltigkeitsszenario

Das Referenzszenario (REF), das Nachhaltigkeitsszenario (NH) und die Szenarette zu reduzierten Exporten (NHSV) führen zu verschiedenen Entwicklungspfaden des Biomassepotenzials. Die Szenarien spannen einen Korridor auf zwischen der Fortführung der aktuellen Situation und einer starken Umsteuerung auf eine nachhaltige Entwicklung. Innerhalb dieses Korridors ist die Politik gefragt, diese Potenziale in die eine oder andere Richtung zu beeinflussen. In ihren Reinformen werden die Szenarien zwar nicht auftreten, für die Zukunft sind aber verschiedene Mischformen innerhalb des Korridors denkbar.

Vergleich der Flächenpotenziale

Die verschiedenen Szenarioannahmen wirken sich viel stärker auf die Anbaupotenziale aus als auf die Reststoffpotenziale (vgl. dazu auch Kapitel 6.2.1.4). Abbildung 52 zeigt zunächst die Flächenpotenziale in den Szenarien *Referenz* (REF), *Nachhaltig* (NH) und *Nachhaltig mit reduzierten Exporten* (NHSV). Zum Vergleich unter den Ländern ist jeweils der Anteil an der landwirtschaftlich genutzten Fläche angegeben, der in dem jeweiligen Szenario für die Biomasse verfügbar ist.

Abbildung 52: Vergleich verfügbarer Flächenanteile an der LF in den drei Szenarien



Zu Beginn des Betrachtungszeitraums sind in allen Ländern 5 – 10 % der landwirtschaftlich genutzten Fläche für die Biomasseerzeugung verfügbar. Der Flächenzugewinn über die Zeit unterscheidet sich in den verschiedenen Szenarien aber erheblich. Im Referenzszenario verdoppelt sich das Flächenpotenzial etwa bis 2030. In Deutschland, Polen und Bayern können dann etwa 18 - 20 % der landwirtschaftlich genutzten Fläche bereitgestellt werden, in Tschechien und Ungarn nur rund 12 %.

Das Nachhaltigkeitszenario zeigt die geringste Dynamik. Die Summe der Nachhaltigkeitsziele lässt den Flächenanteil ab 2010 stagnieren. In den osteuropäischen Ländern variiert das Flächenpotenzial zwischen Referenz- und Nachhaltigkeitszenario wesentlich weniger als in Deutschland, wo extensive Bewirtschaftungssysteme heute einen viel geringeren Anteil an der Produktion haben.

In den osteuropäischen Ländern wirkt sich der Einzelschritt der Szenarrete Exportreduktion viel stärker aus, als alle Nachhaltigkeitsziele zusammen. Innerhalb des Betrachtungszeitraums verdreifacht sich das Flächenpotenzial in Tschechien und Ungarn auf 15 % bzw. 24 % der landwirtschaftlich genutzten Fläche. In Polen, wo bereits in 2000 viel Fläche verfügbar ist, steigt das Potenzial um das 2,3-fache auf 23 % der landwirtschaftlich genutzten Fläche. In Polen, Tschechien und Ungarn können Flächenkonkurrenzen gegenüber der Referenzentwicklung durch verbesserten Natur- und Umweltschutz weitgehend ausgeräumt werden.

In Deutschland wird zwar das Flächenpotenzial des Referenzszenarios nicht mehr erreicht, immerhin umfasst das Potenzial aber noch 18 % der landwirtschaftlich genutzten Fläche. Besonders in Bayern führt die Extensivierung zu stärkerer Flächenkonkurrenz, wodurch nur noch 14 % der landwirtschaftlich genutzten Fläche für die Biomasseerzeugung bereit stehen.

Innerhalb der jeweiligen Länder ergeben die Szenarien in Ungarn die stärksten Unterschiede. Die geringsten Schwankungen zwischen den Szenarien treten in Deutschland und Bayern auf. In Ungarn ist daher die Bedeutung des Energiepflanzenanbaus in der Landwirtschaft viel stärker vom Entwicklungspfad abhängig, z. B. durch politische Entscheidungen zur Förderung der Nahrungsmittelproduktion oder der Energiebiomasse.

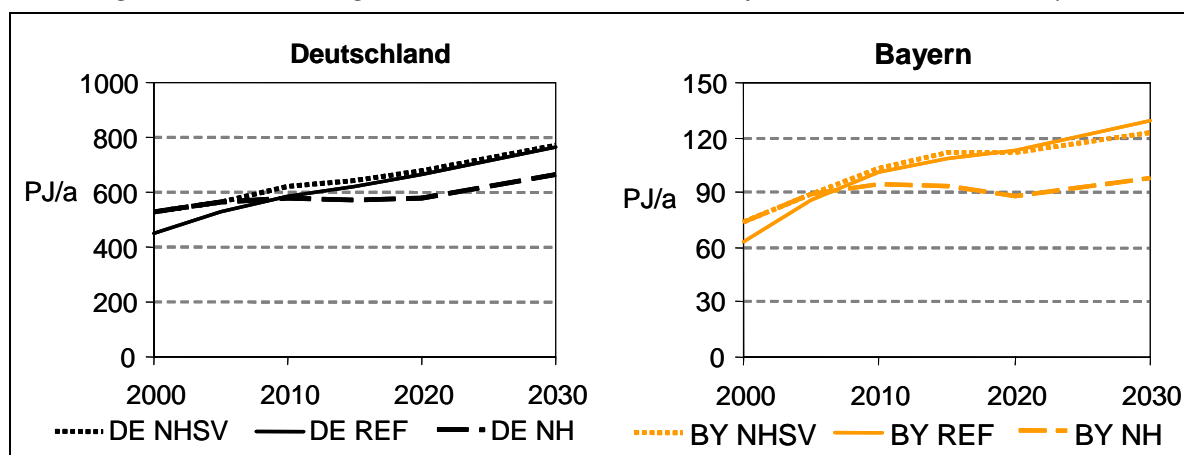
Vergleich der Energiepotenziale

Da die Energiepflanzen den größten Anteil am landwirtschaftlichen Biomassepotenzial stellen, sind die Entwicklungspfade von Flächen- und Energiepotenzialen ähnlich ausgeprägt. Abbildung 53 und Abbildung 54 vergleichen die berechneten Energiepotenziale in den Szenarien innerhalb der Länder.

Für Deutschland ergibt sich ein vergleichsweise schmaler Korridor zwischen NH, REF und NHSV. Im Jahr 2030 führen die verschiedenen politischen Strategien gerade einmal zu einer Variation des landwirtschaftlichen Biomassepotenzials zwischen 665 PJ/a und 770 PJ/a, also rund 16 %. In Bayern ist der Korridor zwischen den Szenarien in 2030 mit 30 % größer, da das Nachhaltigkeitsszenario stärkere Flächenkonkurrenzen auslöst.

Die Exportreduktion kann in beiden Ländern bis zum Ende des Betrachtungszeitraums knapp die Flächenkonkurrenz mit extensiver Bewirtschaftung, Bewirtschaftungsauflagen und zusätzlichen Naturschutzflächen ausgleichen. In Deutschland und Bayern wirken die Nachhaltigkeitsziele begrenzend auf das Biomassepotenzial.

*Abbildung 53: Potenzialvergleich zwischen den Szenarien für Deutschland und Bayern**

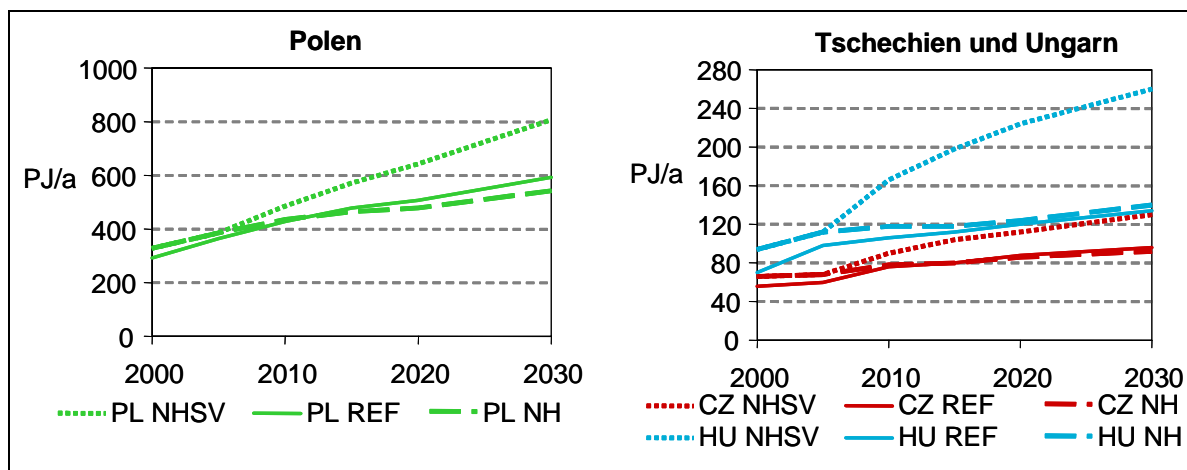


*DE = Deutschland, BY = Bayern; REF = Referenzszenario; NH = Nachhaltigkeitsszenario; NHSV = Szenarete reduzierte Exporte

Etwas anders stellt sich der Szenarienkorrridor der Energiepotenziale in den betrachteten neuen EU-Mitgliedsstaaten dar (Abbildung 54). Generell wird das Potenzial durch mehr Umwelt- und Naturschutz kaum eingeschränkt. Die Ziele des Nachhaltigkeitsszenarios bezüglich extensiver Landwirtschaft werden in Tschechien schon im Referenzszenario zum großen Teil umgesetzt, das seinem aktuellen Entwicklungspfad folgend bis 2030 einen Anteil an ökologischem Landbau von über 20 % erreicht.

In Polen und Ungarn wird im Nachhaltigkeitsszenario vor allem ein Bestandsschutz für extensive Bewirtschaftung festgesetzt.²⁷ Dabei wird die Ertragssteigerung auf 20 % der landwirtschaftlich genutzten Flächen abgeschnitten, was ein erhebliches Ausmaß an Flächen darstellt. Für *mehr Nachhaltigkeit* sind aber weniger Einschnitte gegenüber einer bereits vollzogenen Entwicklung nötig. Eine Bewahrung eines halb-natürlichen Bestands wird politisch leichter umzusetzen sein als eine Rückführung intensiver Flächen in einen extensiveren Zustand, wie es das Nachhaltigkeitsszenario in Deutschland einfordert.

Abbildung 54: Potenzialvergleich zwischen den Szenarien für Polen, Tschechien und Ungarn*



*BY = Bayern, CZ = Tschechien; HU = Ungarn; REF = Referenzszenario; NH = Nachhaltigkeitsszenario; NHSV = Szenario reduzierte Exporte

Eine konsistente Umsetzung einer nachhaltigen Entwicklung führt damit in den betrachteten osteuropäischen Ländern zu geringen Flächenkonflikten hinsichtlich des Biomassepotenzials. In Ungarn führt die verbesserte Reststoffnutzung im Nachhaltigkeitsszenario sogar zum vollständigen Ausgleich der Flächenkonkurrenz.

Davon unberührt sind die starken Konflikte zwischen Bewahrung vorhandener Umwelt- und Naturgüter und einer rasanten Intensivierung der Nahrungsmittelproduktion. In Polen und Ungarn mag dies besonders stark der Fall sein: So sind die extensiven Landnutzungssysteme bisher nicht in eine Zertifizierung eingebunden und damit im Bestand ungeschützt. Hinzu kommen die Exportchancen, die eine intensivere Landwirtschaft begünstigen können.

Das Referenzszenario weist Polen einen erheblichen Anstieg bei der Getreideproduktion zu. Daher wirkt sich die Exportreduktion stärker aus als in Deutschland. Allein der Verzicht auf Exporte verdoppelt bis 2030 das Biomassepotenzial gegenüber dem Nachhaltigkeitsszenario. Dafür werden weniger Nahrungsmittel auf den Weltmarkt exportiert.

Besonders stark ausgeprägt ist dieser Zusammenhang in Ungarn: Ein Verzicht auf die im Referenzszenario angenommenen Getreideexporte verdoppelt das Energiepotenzial. Ungarn besitzt im Ländervergleich somit die variabelsten Biomassepotenziale aus der Landwirtschaft. Ganz entscheidend wird auch hier das Potenzial von der relativen Vorzüglichkeit von Getreideexport bzw. Energienutzung abhängen.

²⁷ Für dessen politische Umsetzung besteht bisher allerdings noch keinerlei gesetzliche Vorgabe.

Daraus ergeben sich relativ große Korridore zwischen den Szenarien in den neuen EU-Mitgliedsstaaten. In Tschechien variieren die Szenarien in 2030 um etwa 40 %, in Polen um über 50 % und in Ungarn sogar um 90 %. Hier ist der Spielraum für die politische Weichenstellung wesentlich größer als in Deutschland und Bayern. Politische Entscheidungen mit großen Auswirkungen sind jedoch schwieriger umzusetzen. Ist ein Entwicklungspfad einmal eingeschlagen, so ist ein Umlenken auf eine Alternative sehr schwierig.

Fazit

Eine konsistente nachhaltige Entwicklung kann zu Flächenkonkurrenzen zwischen Energiepflanzenanbau und Nahrungsmittelproduktion führen. Die Szenarien zeigen, dass bei intensiver Landwirtschaft eine erhebliche Konkurrenz zwischen Bioenergienutzung und Extensivierung besteht; verschiedene Ziele wie Klimaschutz und Bodenschutz, Wasser und Biodiversität geraten hier in Konflikt. Es muss Aufgabe einer Nachhaltigkeitspolitik sein, diesen zu entschärfen.

Werden diese Ziele nicht bereits beim Ausbau der Biomassenutzung berücksichtigt, so kann diese restriktiv auf Umwelt- und Naturschutz wirken. Das Ziel einer nachhaltigeren Energieversorgung durch den Einsatz von Biomasse wird dann aber ad absurdum geführt. Fragen sind hierbei auch, ob der zusätzliche Energiebedarf und die entstehenden CO₂-Emissionen, wie sie in der intensiven Landwirtschaft z. B. durch die mineralische Stickstoffdüngung verursacht werden, durch höhere Hektarerträge zu rechtfertigen sind. Hier ist die Politik gefragt, die weitere Förderung der Biomasse so zu gestalten, dass ein sinnvoller Kompromiss zwischen Bioenergienutzung und Umwelt- und Naturschutz entsteht. Dies fällt umso leichter, je geringer die Potenzialeinbußen sind, d. h. je schmaler der Korridor zwischen den Szenarien ausfällt.

Die Szenarien zeigen aber auch, dass eine konsistente Umsetzung von Nachhaltigkeitszielen die Flächenkonkurrenz teilweise ausgleicht. Insbesondere in den betrachteten osteuropäischen Ländern sollte der Fokus daher nicht nur auf einer Ausweitung des ökologischen Landbaus liegen, sondern der Schutz vorhandener extensiver Bewirtschaftungssysteme prioritär berücksichtigt werden.

Allein die Reduktion der Exporte in der Szenarierete Exportreduktion führt aber zu größeren Effekten im Biomassepotenzial als die konsistente Umsetzung der Nachhaltigkeitsziele. In Zukunft werden daher Konkurrenzbeziehungen zwischen Nahrungsmittel- und Energieproduktion entscheidend für den Anbau von Energiepflanzen sein. In Ländern wie Polen und Ungarn, deren Produktion ein hohes Wachstumspotenzial zugeschrieben wird, sind politische Entscheidungen zur Förderung der Nahrungsmittelproduktion oder der Energiebiomasse von besonderer Bedeutung.

Daraus folgt, dass Bioenergienutzung nur dann nachhaltig erfolgen kann, wenn gleichzeitig eine nachhaltige Versorgung mit Lebensmitteln gewährleistet ist. Langfristig sind bei der Förderung der Bioenergie die Auswirkungen auf die Welternährung stärker zu berücksichtigen. Eine wichtige Herausforderung für die zukünftige Nutzung von Energiebiomasse ist also die nachhaltige Gestaltung der Flächennutzung weltweit.

7.2 Die Biomassepotenziale nach HEKTOR im Vergleich mit aktuellen Studien

Kapitel 3.2 beschreibt eine Reihe von Potenzialabschätzungen, die zum Thema Bioenergie und speziell für die landwirtschaftliche Biomasse bisher vorgenommen wurden. Nicht immer betrachten diese Studien sowohl Reststoff-, als auch Anbaupotenziale, weswegen beide im Folgenden getrennt verglichen werden.

Bisher wurden technische Potenziale vorwiegend *statisch* ermittelt. Eine Stärke von HEKTOR liegt deshalb in seiner dynamischen Betrachtungsweise, die Entwicklungen über die Zeit berücksichtigt. Dies ist vor allem bei der Ermittlung der Flächenpotenziale relevant, denn hier zeigt sich in allen untersuchten Ländern eine beträchtliche Dynamik. In den vergangenen beiden Jahren haben einige weitere Projekte das Thema der Potenziale aufgegriffen, die im Literaturüberblick zum Teil bereits erwähnt wurden. Nicht alle Ergebnisse sind öffentlich zugänglich, soweit verfügbar, werden sie aber besprochen.

7.2.1 Reststoffpotenziale

Während die technischen Potenziale in der Literatur auf der jeweils aktuellen Produktionssituation des einzelnen Landes beruhen, betrachtet HEKTOR auch Zusammenhänge zwischen verschiedenen Produktionsverfahren und die Weiterentwicklung der Agrarstruktur. Um einen Vergleich ziehen zu können, werden die Studien im Kontext ihrer Datenbasis untersucht.

Für Deutschland wurden bereits Anfang der 90er Jahre diverse Untersuchungen zum landwirtschaftlichen Reststoffpotenzial durchgeführt. Für die mittel- und osteuropäischen Länder liegen aus dieser Zeit keine Daten vor. Eine Betrachtung im chronologischen Kontext ist daher nur für Deutschland möglich. Während Anfang der 90er Jahre das Potenzial recht einheitlich mit ca. 100 PJ/a ermittelt wurde (Enquete 1990; Heinloth 1995), geben aktuellere Studien doppelt so hohe Potenziale an. Dies zeigt, wie weit die Biomassenutzung seither fortgeschritten ist. Weitere Biomassequellen wurden erschlossen und neue Technologien entwickelt, die höhere Energieausbeuten zulassen. Die technischen Restriktionen für die Biomassenutzung wurden immer weiter verringert und das technische Potenzial ausgedehnt.

Die meisten aktuellen Studien basieren auf Daten um das Jahr 2000 und wurden zwischen 2002 und 2003 veröffentlicht. Dies entspricht in etwa der Datenlage für HEKTOR im Startjahr 2000 (vgl. Tabelle 54). Für den Vergleich eignen sich die Studien von Nikolaou et al. (2003) und Thrän et al. (2006)²⁸ mit einheitlicher Methodik in allen Ländern besonders.

Bei beiden Studien ist das Reststoffpotenzial stofflich etwas weiter gefasst als in HEKTOR. Es beinhaltet bei Thrän et al. (2006) u. a. auch Grasschnitt aus der Landschaftspflege, der in HEKTOR im Bereich des Grünlands und damit des Flächenpotenzials geführt wird. Die wichtigsten Reststoffe Getreide und Exkremamente werden jedoch sowohl in den beiden Studien als auch in HEKTOR betrachtet.

²⁸ Für Deutschland zeigt Kapitel 5.7.1.1 die Validierung für AUGIAS anhand eines Vergleichs mit Daten nach Wilfert et al. (2002), der eine weitgehende Übereinstimmung der Exkrementpotenziale ergibt. Diese Untersuchung entstand u. a. am Institut für Energetik und Umwelt in Leipzig, an dem auch die Studien nach Kaltschmitt et al. (2003a) und Thrän et al. (2006) durchgeführt wurden. Es ist davon auszugehen, dass die Methodik in diesen Studien konsistent ist.

Tabelle 54: Vergleich landwirtschaftlicher Reststoffpotenziale nach HEKTOR aus der vorliegenden Arbeit mit aktuellen Studien

Land	Potenzial [PJ/a]	Betrachtete Reststoffe	Quelle
Deutschland	190-269	Exkrememente, Erntereste (REF-NH)	Eigene Ergebnisse, HEKTOR 2000
	242	Erntereste, Exkrememente	Nikolaou et al. (2003)
	246	Stroh, Heu, Exkrememente, Kofermente	Thrän et al. (2006)
	156-220	Getreidestroh, Gülle/Festmist Kofermente	Fritsche et al.(2004a)
	510	Stroh, Gülle	Leible et al.(2003)
Bayern	33-44	Exkrememente, Erntereste (REF-NH)	Eigene Ergebnisse, HEKTOR 2000
	35	Gülle, Stroh (1988)	Schulz et al. (1993)
Polen	57-96	Exkrememente, Erntereste (REF-NH)	Eigene Ergebnisse, HEKTOR 2000
	110-130	Stroh, Heu, Exkrememente, Kofermente	Thrän et al. (2006)
	192	Erntereste, Exkrememente	Nikolaou et al. (2003)
	206	Stroh, Biogas	Rogulska et al.(2003)
	239	Getreide-, Rapsstroh, Heu, Exkrememente	Lacny (2003)
	146	Erntereste, Heu, Exkrememente	Pletka (2003)
Tschechien	21-30	Exkrememente, Erntereste (REF-NH)	Eigene Ergebnisse, HEKTOR 2000
	ca. 40	Stroh, Heu, Exkrememente, Kofermente	Thrän et al. (2006)
	35	Erntereste, Exkrememente	Nikolaou et al. (2003)
	23	Getreide-, Rapsstroh, Exkrememente	Pletka (2003)
Ungarn	34-56	Exkrememente, Erntereste (REF-NH)	Eigene Ergebnisse, HEKTOR 2000
	ca. 60	Stroh, Heu, Exkrememente, Kofermente	Thrän et al. (2006)
	42	Erntereste, Exkrememente	Nikolaou et al. (2003)

Die Mobilisierungsfaktoren in den Studien unterscheiden sich allerdings. Thrän et al. (2006) gehen von einer Strohverfügbarkeit von 20 % des Aufwuchses aus, etwa wie im Referenzszenario von HEKTOR. Nach Nikolaou et al. (2003) werden 30 % des Strohs energetisch verwertet, was eher dem Nachhaltigkeitsszenario von HEKTOR entspricht. Bei den Exkrementpotenzialen fasst HEKTOR die technischen Restriktionen enger als die Vergleichsstudien. Diese reduzieren die Potenziale zwar um die Verluste durch Freilandhaltung, nur in HEKTOR wirkt aber auch die Betriebsstruktur restriktiv. Der Vergleich der Ergebnisse zeigt, dass HEKTOR im Referenzszenario durchweg niedrigere Potenziale ermittelt als die Studien von Thrän et al. (2006) und Nikolaou et al. (2003). Letztere ermitteln aber ähnliche Potenziale wie im Nachhaltigkeitsszenario.

Im detaillierten Vergleich der HEKTOR-Ergebnisse für einzelne Länder mit der Literatur werden zusätzlich zu den europaweiten Studien nationale Erhebungen herangezogen (vgl. Tabelle 54). HEKTOR stellt in der aktuellen Version eine Weiterentwicklung des Modells

dar, das für die *Stoffstromanalyse zur nachhaltigen energetischen Nutzung von Biomasse* erstellt wurde (Fritsche et al. 2004a). Für Deutschland ermittelt HEKTOR ein etwa 20 % höheres Reststoffpotenzial als in der *Stoffstromanalyse*. Dies resultiert vorwiegend in einem höheren Strohpotenzial, da Rapsstroh in der *Stoffstromanalyse* vernachlässigt wurde. Zudem führte die umfassende Überarbeitung der Prozesszusammenhänge für die Tierhaltung zu etwas abweichenden Exkrementpotenzialen (vgl. dazu auch Kapitel 4.3.1).

Diese aktuellen Potenziale liegen daher auch etwas näher an den Ergebnissen von Thrän et al. (2006) und Nikolaou et al. (2003). Hingegen errechnen Leible et al. (2003) ein doppelt so hohes technisches Reststoffpotenzial in der Landwirtschaft. Diese resultieren vor allem aus wesentlich höheren Stroherträgen pro Tonne Getreide. Leible et al. (2003) greifen dabei auf Daten von 1993 zurück. In den letzten zehn Jahre hat sich das Stroh-zu-Korn-Verhältnis aber erheblich zum Korn hin verschoben, wie ein Literaturüberblick zeigt (vgl. dazu Fritsche et al. 2004a). Die Ertragsannahmen erklären damit den erheblichen Unterschied auch unter Berücksichtigung weiterer Studien. Bei ähnlichen Anforderungen für Humusrücklieferung und Einstreu ist das Strohpotenzial nach Leible etwa dreimal so hoch wie nach Thrän et al. (2006) und Nikolaou et al. (2003). Im Gesamtüberblick werden die HEKTOR-Potenziale also durch andere Studien unterstützt.

Für Bayern liegen keine aktuellen Studien zum Biomassepotenzial aus der Landwirtschaft vor. Im Hinblick auf die Bandbreite der deutschen Potenziale im Laufe der letzten 10 Jahre ist ein Vergleich mit dem 1993 ermittelten Potenzial eher willkürlich. In der Vergleichsgruppe mit Tschechien und Ungarn wird aber ein ähnliches Reststoffpotenzial errechnet. In diesen beiden Ländern ordnet sich HEKTOR in den Bereich bisher abgeschätzter Potenziale ein.

In Polen erreicht HEKTOR maximal die Hälfte der Potenziale nach Nikolaou et al. (2003), da HEKTOR die ungünstige Betriebsstruktur in Polen berücksichtigt. 2003 standen nur 30-35 % der Rinder und Schweine in Betrieben mit mehr als 20 bzw. 100 Tieren (vgl. auch Kapitel 5.7.1.1). Bei einem Großteil der Kleinbetriebe, vorwiegend in der Semi- und Subsistenzwirtschaft können die Exkremente daher nicht mobilisiert werden. Thrän et al. (2006) schätzen das Potenzial ebenfalls eher wie im Nachhaltigkeitsszenario in HEKTOR ein. Generell bestehen für Polen relativ große Bandbreiten zwischen den ermittelten Potenzialen, wie die Abschätzungen nationalen Experten zeigen. Die Studien von Rogulska et al. (2003), Lacny (2003) und Pletka (2003) schätzen die Potenziale durchweg höher ein als HEKTOR. Auch diese vernachlässigen aber die Betriebsstruktur. Deren Einfluss, der in Polen besonders ausgeprägt ist, wird nur in HEKTOR berücksichtigt.

Fazit

Der Vergleich zwischen der vorliegenden Arbeit und der Literatur zeigt, dass die Datenbasis für das Reststoffpotenzial ähnlich ist und damit als relativ gut abgesichert gelten kann. Für den Bereich Reststoffe dient HEKTOR daher vorwiegend als konsistente Ergänzung der Flächenpotenziale. HEKTOR eigen ist aber die länderspezifische Berücksichtigung der Betriebsstruktur. Gerade in Ländern wie Polen, mit einem hohen Anteil an Subsistenzlandwirtschaft begrenzt dies die Erfassung tierischer Exkremente. Dies wurde als technische Restriktion bisher nicht berücksichtigt.

7.2.2 Anbaupotenziale

Die in Kapitel 3.2 beschriebenen Studien stellen bisher keine dynamischen Potenziale für die einzelnen Länder und den gewählten Betrachtungszeitraum dar und sind nur begrenzt vergleichbar. Einige Punktabstätzungen der Potenziale sollen aber zumindest gegenüber den Ergebnissen aus dem Modell HEKTOR eingeordnet werden (Tabelle 55). Nur die parallel entstandene Studie von Thrän et al. (2006) berücksichtigt sowohl die zeitliche Entwicklung bis 2020, als auch den Einfluss politischer Rahmenbedingungen.

Tabelle 55: Vergleich der Flächenpotenziale nach HEKTOR aus der vorliegenden Arbeit mit aktuellen Studien

Land	Anbaufläche [Mio. ha]	Potenzial [PJ]	Quelle
Deutschland	1,5	262	Eigene Ergebnisse, HEKTOR 2000
	2,2-2,9	362-515	Eigene Ergebnisse, HEKTOR 2020 (NH-REF)*
	2,5		Fritsche et al.(2004a) Referenzszenario 2020
	5,2		Thrän et al. (2006) 2020
	2	350-400	Schneider et. al (2002)
	0,9/3,8	174/695	Flaig (1995)
	2/6		Wintzer et al.(1993)
Bayern	0,2	30	Eigene Ergebnisse, HEKTOR 2000
	0,3-0,5	50-84	Eigene Ergebnisse, HEKTOR 2020 (NH-REF)*
	0,85	180	Schulz, et al. (1993)
Polen	1,8	234	Eigene Ergebnisse, HEKTOR 2000
	2,5-3,5	352-528	Eigene Ergebnisse, HEKTOR 2020 (NH-NHSV)*
	2,6		Thrän et al. (2006) 2020
	1,6-2	360	Rogulska et al. (2003)
Tschechien	0,3	35	Eigene Ergebnisse, HEKTOR 2000
	0,4-0,6	53-83	Eigene Ergebnisse, HEKTOR 2020 (NH-NHSV)*
	1,0		Thrän et al. (2006) 2020
	0,5-1		Safarik et al. (2003)
Ungarn	0,3	37	Eigene Ergebnisse, HEKTOR 2000
	0,5-1,3	68-176	Eigene Ergebnisse, HEKTOR 2020 (REF-NHSV)*
	2,8		Thrän et al. (2006) 2020
	0,4		Kocsis (2003)
	2,2		Kohlheb et al. (2004)

*In Klammern sind jeweils die HEKTOR-Szenarien gesetzt, die im jeweiligen Land das niedrigste bzw. das höchste Flächenpotenzial bieten

Für die Umrechnung der Flächen in Energiepotenziale nutzt HEKTOR einen Anbaumix (vgl. Kapitel 5.7.2.2). Dieser ermöglicht die Fortschreibung der Energiepotenziale entlang der Ertragssteigerung und den Vergleich zwischen den HEKTOR-Ergebnissen der betrachteten Länder, trotz der Variabilität der Flächenbelegung. Diese Variabilität ist zwar einer der großen Vorzüge in der Nutzung von Bioenergie, sie erschwert jedoch einen Vergleich mit anderen Studien. Der folgende Vergleich ist daher vorwiegend auf Basis der verfügbaren

Anbauflächen sinnvoll. Um die Variation der daraus resultierenden Energiepotenziale zu veranschaulichen, sind diese aber in Tabelle 55 aufgeführt.

Im Vergleich zur früheren Version aus der Stoffstromanalyse (Fritsche et al. 2004a) ermittelt die aktuelle HEKTOR-Version im Referenzszenario mit 2,9 Mio. ha etwas höhere Flächenpotenziale. Dabei sind die verfügbaren Ackerflächen mit 2 Mio. ha annähernd gleich. Der Unterschied resultiert aus einem um 400.000 ha höheren Grünlandpotenzial. Dies resultiert aus der Neubewertung der Rindfleischproduktion. In der vorliegenden Arbeit sind bereits die neueren Entwicklungen Europas hin zum Nettoimporteur berücksichtigt. Das Energiepotenzial von diesen Grünlandflächen beträgt rund 30 PJ/a und entspricht etwa 5 % des gesamten Energiepotenzials. Verglichen mit der Spannweite der Potenziale, die in HEKTOR zwischen den Szenarien entsteht, ist dies wenig.

Wesentlich interessanter als der Vergleich mit der Stoffstromanalyse ist jedoch der Vergleich mit anderen Methoden der Potenzialermittlung. Thrän et al. (2006) betrachten verschiedene Szenarien für die Weiterentwicklung der Flächenpotenziale. Die Standardvariante unterscheidet sich jedoch stark in ihren Annahmen von den Szenarien in HEKTOR.

Am ehesten vergleichbar sind die so genannte *E+-Variante* von Thrän et al. (2006), die auch Naturschutz und Nachhaltigkeit berücksichtigt (Tabelle 55) und das HEKTOR-Nachhaltigkeitsszenario. Allerdings wirkt bei letzterem eine zusätzliche Flächenkonkurrenz durch den verstärkten Ausbau des ökologischen Landbaus über den Trend hinaus. Die Berücksichtigung der Selbstversorgung der *E+-Variante* ist dem Abbau der Nahrungsmittelüberschüsse aus der Szenarrete zu reduzierten Exporten nicht ganz äquivalent, da in HEKTOR nur um den europäischen Überschuss und damit weniger gekürzt wird. Insgesamt sind in HEKTOR mehr Restriktionen für das Flächenpotenzial gleichzeitig berücksichtigt, was die Flächenpotenziale generell verringert. Dies ist aus Nachhaltigkeitssicht nur konsequent.

Die Annahmen zur Weiterentwicklung in der Landwirtschaft sind in HEKTOR generell etwas konservativer, etwa mit niedrigeren Ertragssteigerungen im Pflanzenbau. Thrän et al. (2006) gehen beispielsweise von einem Ertragsanstieg von durchschnittlich 1,5 % in Deutschland aus. In HEKTOR wird stärker differenziert. Die lineare Trendfortschreibung pro Kultur führt zu vergleichsweise geringeren Ertragsanstiegen. Weizen erreicht nur etwa 1,1 % Steigerung pro Jahr, Hackfrüchte 0,5 – 1,2 %, Grünland nur 0,4 %. Dies fällt sogar gegenüber der *E+-Variante* nach Thrän et al. (2006) mit reduzierten Ertragssteigerungen bei Grünland zurück. Die eher zurückhaltende Ertragsfortschreibung in HEKTOR, angelehnt an die Annahmen von OECD und FAO (OECD/FAO 2004), führt zu wesentlich geringeren Flächenpotenzialen in Deutschland. In Tschechien und Polen sind die Unterschiede in der Ertragsfortschreibung gering, wodurch sich auch die Flächenpotenziale weniger unterscheiden. In Deutschland schränkt HEKTOR das Flächenpotenzial im Nachhaltigkeitsszenario zudem durch den Ausbau des ökologischen Landbaus bis 2030 stark ein.

Besonders stark wirkt sich die unterschiedliche Ertragsfortschreibung jedoch in Ungarn aus. Nach Thrän et al. (2006) erreicht Getreide bis 2020 ein Ertragsniveau von knapp 10 t/ha und damit ein höheres Niveau als Deutschland, Frankreich oder England zum selben Zeitpunkt. Diese Annahme erklärt die erheblichen Unterschiede im Flächenpotenzial. In HEKTOR wird eine vorsichtiger Ertragsfortschreibung vorgenommen, welche die ungarischen Weizen-erträge bis 2020 nur auf 5,4 t/ha und bei Körnermais nur auf 7,7 t/ha steigen lässt.

Für Deutschland sind zusätzlich diverse weitere Studien verfügbar, die das Flächenpotenzial punktuell betrachten. Wie die Übersicht in Tabelle 55 zeigt, variieren bisherige Angaben zum Flächenpotenzial in Deutschland stark zwischen 1 und 6 Mio. ha. Im Vergleich mit den Ergebnissen aus HEKTOR können diese Potenzialschätzungen entlang einer Zeitachse eingeordnet werden. Die etwas niedrigeren Schätzungen gehen meist von der Stilllegungsfläche aus, die in HEKTOR für 2000 berücksichtigt wird. In Szenarien werden daneben die zukünftig verfügbaren Flächen aufgezeigt. Während Flaig (1995) einen zeitlichen Rahmen für die Szenarien vorsieht, sind die Flächenpotenziale bei Wintzer et al. (1993) vom Entwicklungspfad abhängig und gelten für 2005. Für den Vergleich mit HEKTOR fehlt damit jeweils die andere zeitliche oder pfadabhängige Bezugsgröße.

Die Szenarienergebnisse aus HEKTOR zeigen jedoch, dass beide Bezugsgrößen über das Potenzial mitentscheiden. Generell fehlt in den meisten betrachteten Studien die Konkurrenz durch Siedlung und Verkehr bzw. die Nachfrage nach Naturschutzflächen, HEKTOR zeigt die erhebliche Bedeutung dieser Flächenkonkurrenzen und stellt damit eine verlässliche Grundlage für den zukünftigen Beitrag der landwirtschaftlichen Biomasse zur Energieversorgung. Werden die Konkurrenzen vernachlässigt, dann wird das Flächenpotenzial im jeweiligen Rahmen überschätzt.

Für die übrigen Länder liegen keine langjährigen Reihen von Potenzialstudien, sondern nur Einzelergebnisse vor. Die HEKTOR-Ergebnisse für Bayern bleiben erheblich hinter Potenzial nach Schulz et al. (1993) zurück. Die vorliegenden Berechnungen zeigen aber, dass die darin vorgenommene anteilige Übertragung deutscher Anbaupotenziale nicht unproblematisch ist, da sich die landwirtschaftliche Struktur und Produktion in Bayern vom deutschen Durchschnitt doch erheblich unterscheiden. Wie in den übrigen Studien, die nur punktuelle Ergebnisse liefern, werden die Entwicklung von Flächenverbrauch und Naturschutzflächen vernachlässigt. Gerade in Deutschland und Bayern hat aber die Untersuchung mit HEKTOR die Relevanz dieser Flächenkonkurrenz nachgewiesen.

Relativ einfach ist die zeitliche Einordnung der Potenziale für Polen. Rogulska et al. (2003) setzen die Stilllegungsfläche von 1,6 Mio. ha mit einem kleinen Zuschlag von 0,4 Mio. ha an. Dies ist mit dem Startjahr von HEKTOR vergleichbar. Ähnlich geht Safarík et al. (2003) für Tschechien vor, deren Annahme von bis zu 1 Mio. ha jedoch nur auf groben Schätzungen des tschechischen Landwirtschaftsministeriums basiert. Eine Ermittlung von Flächenpotenzialen nach HEKTOR stellt demgegenüber eine erhebliche Verbesserung dar: HEKTOR zeigt, dass eine punktuelle Betrachtung der Flächenpotenziale nicht genügt, da diese einer erheblichen Dynamik unterliegen. Gerade in den neuen EU-Mitgliedsstaaten ist sie erheblich.

In Ungarn ergeben sich dadurch in HEKTOR je nach Entwicklungspfad extrem unterschiedliche Flächenpotenziale. Dies relativiert auch die große Variation in den bisherigen Flächenangaben. Kocsis (2003) betrachtet aktuelle Flächenpotenziale, während die 2,2 Mio. ha nach Kohlheb et al. (2004) eine starke Umstrukturierung der landwirtschaftlichen Produktion voraussetzen. Diese bildet HEKTOR z. B. durch reduzierte Exporte ab. Nachhaltigkeitsziele bzw. extensive Bewirtschaftung werden von Kohlheb et al. (2004) jedoch nicht betrachtet.

Insgesamt berücksichtigen die betrachteten länderbezogenen Studien weder die künftige Flächenkonkurrenz durch Siedlung und Verkehr noch die zusätzliche Flächennachfrage, die durch eine steigende Nahrungsmittelnachfrage induziert wird. Eine Flächenermittlung ohne

Beachtung der Konkurrenznutzungen wird das Flächenpotenzial jedoch überschätzen. HEKTOR berücksichtigt dagegen die wichtigen Flächenkonkurrenten und erzielt damit zwar niedrigere Potenziale. Diese Ergebnisse sind wesentlich präziser.

Fazit

HEKTOR stellt die bisher ermittelten, zum Teil sehr stark variierenden Flächenpotenziale in einen sinnvollen Zusammenhang, der die Zeit- und Entwicklungspfadabhängigkeit der Potenziale aufzeigt. Über Szenarien werden jeweils die technischen Voraussetzungen in einen Zeitrahmen gestellt und die variablen Rahmenbedingungen abgeprüft. Das Modell ermöglicht zudem eine gleichzeitige Betrachtung aller wichtigen heutigen und zukünftigen Nutzungsoptionen für landwirtschaftliche Flächen. Dies führt zu einer konsistenteren Potenzialermittlung als in den statischen Abschätzungen. Neue politische Rahmenbedingungen können direkt in Szenarien übertragen werden und die Wirkung auf die Energiepotenziale ist unmittelbar darstellbar.

Dies ist besonders wichtig, da die verfügbaren Flächen sehr sensibel auf die Änderung der Rahmenbedingungen reagieren. Die Folge ist eine erhebliche Unschärfe der Ergebnisse des Referenzszenarios gegenüber der tatsächlichen Entwicklung. Die Komplexität des Themas sollte jedoch nicht dazu führen, völlig auf eine Angabe von Flächenpotenzialen zu verzichten, wie bei Nikolaou et al. (2003). Das Modell HEKTOR bietet eine einfache Möglichkeit, zukünftig veränderte Rahmenbedingungen in einem Szenario zu implementieren und eine Neuberechnung durchzuführen.

Im Vergleich mit anderen Modellstudien, die derzeit europäische Biomassepotenziale erheben, legen die Ergebnisse nach HEKTOR einen Schwerpunkt auf die Nachhaltigkeit der Potenziale. Insbesondere die Flächenkonkurrenz, die durch den Naturschutz entsteht, wird in den übrigen Arbeiten nur untergeordnet betrachtet. Nachhaltige Flächenpotenziale müssen aber Nutzungsalternativen mitbetrachten, sonst werden die Flächenpotenziale überschätzt. Dadurch entsteht aber eine Ausdehnung der Biomasseerzeugung auf Kosten der Biodiversität und anderer Umweltziele. Dies kann aber nicht Sinn einer nachhaltigen Entwicklung sein. Die Biomassepotenziale werden unter einer konsistenten Beachtung der Nachhaltigkeit vermutlich eine geringere Entwicklung vollziehen, als in bisherigen Studien ermittelt.

7.3 Bedeutung der landwirtschaftlichen Biomasse für die Energieversorgung

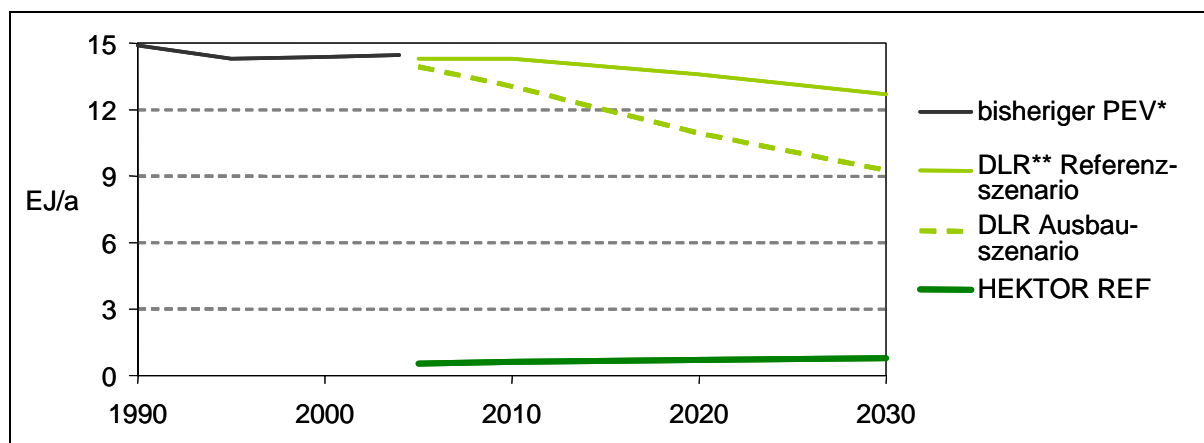
Die Bedeutung der Biomasse wird nicht nur von den Potenzialen und dem Ausbau der Bioenergienutzung bestimmt, sondern auch vom zukünftigen Energieverbrauch eines Landes. Daher werden im Folgenden die Biomassepotenziale aus den HEKTOR-Szenarien in den Rahmen der den Prognosen und Szenarien für den Energieverbrauch der Länder eingeordnet. Da HEKTOR nur die landwirtschaftliche Biomasse untersucht, bleiben die Potenziale aus Forst- und Abfallwirtschaft unberücksichtigt.

In Kapitel 2.1.4 wurden die verschiedenen Prognosen und Szenarien für die Entwicklung der Energienachfrage vorgestellt. Im Allgemeinen wird sich der Trend zu zunehmendem Energieverbrauch weiter fortsetzen, wie die Untersuchungen der EU-Kommission und der IEA zeigen (EU-Kommission 2004b; IEA 2004b). Die EU-Kommission geht dabei detaillierter auf die

Situation in den neuen Mitgliedsstaaten in Mittel- und Osteuropa ein, die zunächst ein stärkeres Wachstum aufweisen werden.

Deutschland könnte hingegen einem Rückgang des Energieverbrauchs innerhalb des Betrachtungszeitraums entgegensehen. In Abbildung 55 sind das Referenzszenario (DLR Referenzszenario) und das Szenario zum Ausbau erneuerbarer Energien bei höherer Energieeffizienz (DLR Ausbauszenario) des Deutschen Zentrums für Luft- und Raumfahrt (DLR) mit ihrer erheblichen Spannweite dargestellt (Nitsch et al. 2004). Daran werden die landwirtschaftlichen Biomassepotenziale nach HEKTOR gemessen.

Abbildung 55: Biomassepotenzial nach HEKTOR im Vergleich mit Szenarien für den zukünftigen Energieverbrauch in Deutschland



*PEV = Primärenergieverbrauch; ** DLR = Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt

(Quelle: Nitsch et al. 2004 und eigene Berechnungen)

Der Beitrag, den die nachhaltigen Biomassepotenziale aus der Landwirtschaft zur Energieversorgung in Deutschland leisten können, ist begrenzt. Die Abbildung zeigt die HEKTOR-Ergebnisse aus der Szenarierete NHSV, welche unter den analysierten Biomasse-Szenarien in Deutschland das höchste Potenzial liefert. Dennoch kann nur ein Bruchteil des Energiebedarfs abgedeckt werden. Bei voller Ausschöpfung des Potenzials können 2030 maximal 9 % der Energie aus der Landwirtschaft bereitgestellt werden, für zusätzliche Biomasse muss auf Forst- und Abfallwirtschaft zugegriffen werden.

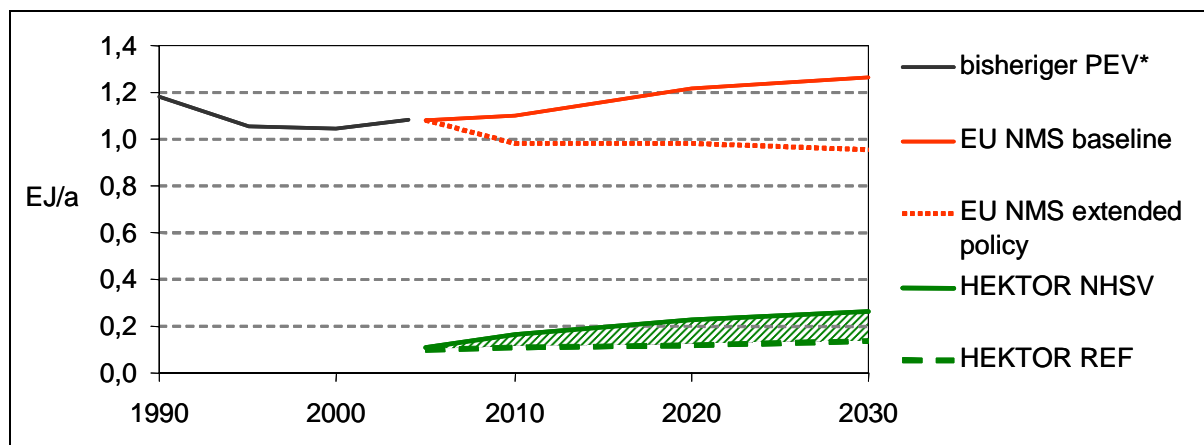
Diese 9% werden jedoch nur erreicht, wenn inzwischen alle Anstrengungen zur Reduzierung des Energieverbrauchs unternommen werden. Nitsch et al. (2004) zeigen, dass bei einem ökologisch optimierten Ausbau der Energiesysteme der Energieverbrauch bis 2050 sogar halbiert werden könnte. Dazu müssen bis dahin die möglichen Effizienzsteigerungs- und Energiesparmaßnahmen umgesetzt werden. In Anbetracht der umfangreichen Steuerungstätigkeit, welche die Politik dafür leisten müsste, ist ein solcher Rückgang des Energieverbrauchs noch fraglich. Andernfalls können mit Biomasse aus der heimischen Landwirtschaft höchstens 6 % des Primärenergieverbrauchs gedeckt werden.

Überträgt man die Szenarien zum Energieverbrauch nach DLR proportional auf Bayern, so ergibt sich eine ähnliche Situation. Auch in Bayern wäre der Primärenergieverbrauch bis 2030 rückläufig. Dadurch könnte der Anteil der landwirtschaftlichen Biomasse an der Energieversorgung je nach Energieverbrauchsentwicklung auf 9 % steigen.

Für die Fortschreibung des Primärenergieverbrauchs in den neuen Mitgliedsstaaten (NMS) wurde auf die Szenarien der EU-Kommission zurückgegriffen, welche diese als einheitliche Ländergruppe führen. Den höchsten Anteil an der Energieversorgung könnte die landwirtschaftliche Biomasse in Ungarn erreichen. In Abbildung 56 sind ausgehend vom aktuellen Primärenergieverbrauch jeweils die Szenarien *baseline* und *extended policy* bis 2030 fortgeschrieben (vgl. Kapitel 2.1.4). Daneben sind die Potenziale aus den verschiedenen HEKTOR-Szenarien dargestellt.

Zwar wird der Energieverbrauch in Ungarn nicht wie in Deutschland zurückgehen, dafür stehen aber relativ hohe landwirtschaftliche Biomassepotenziale zur Verfügung. Je nach Szenario kann der Beitrag zur Energieversorgung stark schwanken. So stellt die Biomasse im Referenzszenario (REF) für 2030 ein Potenzial von 11 - 14 % des Energieverbrauchs zur Verfügung. Mit der Szenarierete NHSV steigt der Anteil auf 20 - 27 %. Dies wäre der höchste Anteil bei allen betrachteten Ländern.

Abbildung 56: Szenarien für das Biomassepotenzial nach HEKTOR und den zukünftigen Energieverbrauch in Ungarn



*PEV = Primärenergieverbrauch

(Quelle: EU-Kommission 2004b und eigene Berechnungen)

Derzeit stellt die Biomasse, einschließlich Forst und Abfall in Ungarn nur 2 % der Energieversorgung bereit. Dies zeigt, wie gewaltig der Ausbau hier sein müsste, um das Potenzial tatsächlich zu nutzen. Für die ungarische Politik ist dies überlegenswert, denn neben Umweltvorteilen durch die Biomasse kann die heimische Landwirtschaft gestärkt, Arbeitsplätze geschaffen und die Versorgung mit Energie langfristig gesichert werden.

Die beiden Länderbeispiele zeigen, wie begrenzt einerseits der Beitrag der heimischen Landwirtschaft zur deutschen Energieversorgung sein wird und welche Chancen andererseits in Ungarn bestehen. Diese Ambivalenz lässt sich auch für die übrigen drei Länder beobachten. In Tabelle 56 sind die möglichen Biomasseanteile an der Energieversorgung für alle Länder zusammengefasst. Die Potenziale des Referenzszenarios nach HEKTOR wurden der Referenzentwicklung des Energieverbrauchs angerechnet und die Potenziale aus dem Nachhaltigkeitsszenario der nachhaltigeren Energieversorgung. Generell zeigt sich, dass die landwirtschaftliche Biomasse bei einer umfassenden Nachhaltigkeitsstrategie ähnlich viel oder sogar mehr in der Energieversorgung leisten kann, als in der Referenzentwicklung.

Die fünf betrachteten Länder und Regionen können nun nach ihren Biomassepotenzialen in zwei Gruppen eingeteilt werden: Deutschland mit Bayern und Tschechien können nur über begrenzte einheimische Biomassepotenziale aus der Landwirtschaft verfügen. Gleichzeitig sind die Potenziale gegenüber den unterschiedlichen Rahmenbedingungen in den Szenarien relativ stabil.

Tabelle 56: Potenzieller Anteil der landwirtschaftlichen Biomasse am Primärenergieverbrauch in 2030

Land	Anteil an DLR REF/ EU NMS baseline	Anteil an DLR Ausbau/ EU NMS extended policy 2030	
	HEKTOR-REF	HEKTOR-NH	HEKTOR-NHSV
Deutschland	6%	7%	9%
Bayern	7%	7%	9%
Tschechien	5%	6%	8%
Polen	13%	16%	23%
Ungarn	11%	15%	27%

(Quelle: Eigene Berechnungen anhand von: EU-Kommission 2004b ; Nitsch et al. 2004)

Aufgrund dieser Restriktionen ist ein effizienter Einsatz der Biomasse in der Energieversorgung umso wichtiger. Welche der zahlreichen Technologien effizient ist, hängt auch vom Ziel ab, das mit dem Biomasseinsatz erreicht werden soll. Das kann der höchste Energieertrag, aber auch die bestmögliche CO₂-Einsparung sein. Eine Analyse unterschiedlicher Technologien hinsichtlich ihrer Zielerreichung muss auf Basis ökobilanzieller Vergleiche erfolgen, wie sie etwa Fritsche et al. (2004a) für Deutschland vorlegen. Aufgabe der Politik ist dann eine optimierte Förderung der Bioenergie hinsichtlich des jeweils wichtigsten Ziels.

Den Ländern mit sehr begrenzten einheimischen Potenzialen wie Deutschland und Tschechien stehen Polen und Ungarn gegenüber, die bereits in der Referenzentwicklung höhere Biomassepotenziale aufweisen. Dieses Potenzial kann unter den richtigen Rahmenbedingungen noch erheblich ausgedehnt werden, so dass allein die Landwirtschaft ein Viertel der Energieversorgung absichern könnte.

Dabei ist in den letzten beiden Ländern der heutige Beitrag der landwirtschaftlichen Biomasse zur Energieversorgung sehr gering. Aktuell wird in Polen und Ungarn hauptsächlich Holz genutzt. Es scheint fraglich, ob die bisher umgesetzten Maßnahmen genügen, um die Bioenergienutzung in den nächsten Jahren potenzial-auslastend zu steigern. Hier ist auch die Politik gefragt, die Mobilisierung dieser Potenziale voranzutreiben. Zusätzlich können auch verstärkt Exportmärkte erschlossen werden.

Für höhere Biomasseanteile wird daher der internationale Biomassehandel wichtiger. Er trägt dazu bei, Bioenergie von Regionen mit hohen Potenzialen und geringer Nutzung in Regionen mit hoher Nachfrage nach Biomasse und begrenzten Potenzialen umzuleiten. Dadurch werden die Biomassepotenziale schneller mobilisiert als bei der Beschränkung auf den heimischen Markt. Dies ist wünschenswert, weil dadurch eine höhere Versorgungssicherheit mit Energie und eine geringere CO₂-Belastung erreicht werden. Letztere wird aber nur erreicht, wenn die Bioenergieträger eine entsprechende Energiedichte aufweisen.

Zudem muss sichergestellt werden, dass Biomasse aus nachhaltiger Produktion importiert wird, da sonst Produzenten auf Kosten sozialer und ökologischer Nachhaltigkeit zu günstigeren Preisen exportieren. Ein Beispiel: Bioethanol als Treibstoff kann aus Zucker hergestellt werden. In Brasilien wird dies auf Basis von Zuckerrohr bereits im großen Stil durchgeführt: Jährlich werden hier etwa 14 Mrd. Liter Ethanol produziert (Karekezi et al. 2004). Allerdings wird die Diskussion über die Nachhaltigkeit der Zuckerproduktion bereits für die Nahrungsmittelproduktion vehement geführt (Bernhardt et al. 2005; WWF 2005). Diese Diskussion kann weitgehend auf die Produktion von Bioenergie ausgedehnt werden:

„Mit Blick auf die Flächenkonkurrenz [...] und die mit Eigentumsverhältnissen an Boden verknüpften sozialen Fragen [...] kann zudem gefolgert werden, dass Biokraftstoffbereitstellung in EL [*Entwicklungsländern, Anm. d Verf.*] ohne *massive regulierende* Eingriffe ähnlichen Konflikten unterliegen wird wie heute der Anbau von *cash crops*.“ (Fritsche et al. 2004b, S. 14)

Die Studie weist insbesondere darauf hin, dass zahlreiche Fragen im Bereich eines nachhaltigen Energiepflanzenanbaus, insbesondere in Entwicklungsländern noch ungeklärt sind. Eine Diskussion dieser Frage wird umso wichtiger, je schneller sich weltweite Handelsbeziehungen für Bioenergie entwickeln. Für den Holzsektor ist diese Entwicklung bereits im vollen Gang: Zwischen 2002 und 2004 verdreifachten sich die kanadischen Holzpelletsexporte nach Übersee. 2005 exportierte Kanada mit 400.000 t bereits mehr als die Hälfte der einheimischen Produktion nach Europa (Bradley 2005). Auch für die landwirtschaftliche Biomasse werden sich weltweit Märkte entwickeln, wie dies bei Nahrungsmitteln bereits der Fall ist.

Exkurs: Biomasse und Welternährung

Die Szenarette zu reduzierten Exporten zeigt den engen Zusammenhang zwischen Nahrungs- und Energiemärkten, die zukünftig durch landwirtschaftliche Biomasse bedient werden. Zwar ist der Einfluss einzelner Länder auf den Weltmarkt sehr begrenzt, die Beispiele Polen und Ungarn zeigen jedoch exemplarisch, wie eine starke Ausdehnung der Nachfrage nach Energiebiomasse künftig auf das Angebot an Nahrungsmitteln wirken kann (vgl. Kapitel 6.1.3).

Die verstärkte Nutzung von Biomasse könnte sich entscheidend auf die Zukunft der Welternährung auswirken. Die aktuellen Annahmen der FAO zur Nahrungsmittelverfügbarkeit gehen davon aus, dass die Produktionssteigerung in Zukunft genügen wird, um die wachsende Weltbevölkerung zu ernähren (FAO 2003). Eine Konkurrenz durch eine weltweit zunehmende Nachfrage nach Bioenergie, die auf landwirtschaftlichen Flächen produziert wird, ist darin aber noch nicht berücksichtigt. Zahlungskräftige Länder könnten zukünftig Biomasse in Konkurrenz zu den Lebensmitteln nachfragen, was zu steigenden Weltmarktpreisen für Lebensmittel führt.

Als Folge sind zwei Effekte denkbar: Erstens könnten für weniger zahlungskräftige Importeure von Nahrungsmitteln Versorgungsprobleme bei der Ernährung entstehen. Dies ist besonders bedenklich, da die Agrarhandelsbilanz der Entwicklungsländer bereits heute negativ ist und in den letzten zehn Jahren einen starken Abwärtstrend zeigte (FAO 2003). Ein höherer Preisdruck bei Nahrungsmitteln, ausgelöst durch eine starke Biomassen Nachfrage, würde die bereits heute bestehenden Verteilungsprobleme der Entwicklungsländer noch verstärken. Die mit der Fehlverteilung zusammenhängende Armut ist aber wiederum ein

Hauptgrund für Unter- und Mangelernährung, von der immer noch 800 Millionen Menschen weltweit betroffen sind.

Zweitens könnten höhere Biomasse- und Lebensmittelpreise die landwirtschaftliche Produktion stimulieren. Auch in Entwicklungsländern könnte damit ein Anreiz gegeben werden, die heimische Produktion zu fördern. Letzteres wäre auch für die Bekämpfung der Unterernährung ein entscheidender Fortschritt (FAO 2003).

Eine Produktionssteigerung kann wiederum nur durch eine intensivere Landbewirtschaftung erreicht werden. Dass eine Intensivierung zu verstärkten Umweltproblemen führen kann, wurde bereits oben angesprochen und gilt noch stärker für Entwicklungsländer, deren Ökosysteme meist besonders sensibel sind. Hier seien als Stichworte nur Erosion, Versalzung und Versteppung genannt. Andererseits können moderne Techniken der Landbewirtschaftung zu höheren Erträgen bei nachhaltiger Wirtschaftsweise führen. So konnten Bauern in Madagaskar ihre Reiserträge vervierfachen, indem sie ein fortschrittliches ökologisches Landbausystem einführten (FAO 2003).

Für die globale Betrachtung der Anbaupotenziale bestehen bereits Modelle, die variierende Entwicklungsoptionen analysieren (vgl. Kapitel 3.2.2). Was derzeit noch nicht besteht, ist die Verknüpfung zwischen Energie- und Stoffmodellen mit Agrarmarktmodellen, die Preis- und Produktionszusammenhängen zwischen Lebensmitteln und Energiemärkten verbinden.

Fazit

Der Anteil, den die Biomasse zu einer nachhaltigen Energieversorgung eines Landes beitragen kann, schwankt in den betrachteten Ländern enorm. In Deutschland, Bayern und Tschechien können nachhaltige Biomassepotenziale etwa 5 – 10 % der Energieversorgung stellen. In Ungarn und Polen sind die Potenziale mit 10 – 25 % wesentlich höher. Ob letztere den Ausbau der Nutzung schnell genug vorantreiben können, um alle Potenziale auszuschöpfen ist allerdings fraglich. Gerade in diesen Ländern ist also die Energiepolitik gefragt, einen vernünftigen Ausbau zu fördern.

Zukünftig werden auch diejenigen Handelsbeziehungen zunehmen, durch welche die Biomassepotenziale stärker mobilisiert werden. Aus Nachhaltigkeitssicht sind dabei zwei Faktoren relevant: Erstens ist nur ein Transport hoher Energiedichten effizient. Zweitens müssen auch an den Handel mit Biomasse Nachhaltigkeitskriterien angelegt werden. Andernfalls werden die Nachhaltigkeitsdefizite nur in die Herkunftsländer der Biomasse exportiert.

An dieser Stelle muss auch eine stärkere Verknüpfung mit Nachhaltigkeitskriterien im Lebensmittelhandel erfolgen, die mit einer verstärkten Nutzung der Bioenergie in Konkurrenz treten könnten. Die Energieversorgung ist damit nur eine Facette einer nachhaltigen Entwicklung. Diese fordert eine konsistente Umsetzung von Nachhaltigkeitszielen in unterschiedlichen Bereichen. Für den Bereich der Flächenkonkurrenz kann HEKTOR auf regionaler Ebene die Konkurrenzen und Synergien umfassend darstellen.

7.4 Ausblick

Biomassepotenziale als Angebot sind nur eine Seite der Medaille. Damit die Biomasse in der Zukunft auch in diesem Umfang genutzt wird, muss neben dem Angebot auch die Nachfrage nach Biomasse stark ansteigen. Dies wird nur der Fall sein, wenn entsprechende Nutzungstechnologien zu wettbewerbsfähigen Preisen verfügbar sind. Derzeit kann Biomasse noch nicht vollständig mit fossilen Energieträgern konkurrieren, deren Technologien bereits ausgereift sind. Für die Biomassetechnologien sind jedoch noch erhebliche Weiterentwicklungen und Kostenreduktionen zu erwarten. Diese hängen auch vom Umfang des Ausbaus ab, da höhere Stückzahlen zu Kostenreduktionen führen, wie Lernkurvenanalysen für Deutschland zeigen (Fritsche et al. 2004a).

Gerade in den nächsten Jahrzehnten wird eine umfassende Erneuerung unserer Energieversorgung nötig werden: Laut IEA müssen in Europa²⁹ in den nächsten 30 Jahren rund 1.800 Mrd. US-\$ in die Energieversorgung investiert werden. Mehr als die Hälfte davon sind Ersatzinvestitionen z. B. für bestehende Kraftwerke und Netze (IEA 2004b). Dies bietet eine große Chance für eine Umgestaltung der Energieversorgung hin zu höherer Effizienz und verstärkter Nutzung erneuerbarer Energien, innerhalb derer Biomasse eine Säule sein kann.

Wie Fritsche et al. (2004a) zeigen, wird in der Referenzentwicklung der Energieversorgung in Deutschland die Bioenergie vermutlich auch zukünftig nur begrenzt genutzt. Dies kann auch für andere Länder gelten, die bisher kaum mehr erneuerbare Energien einsetzen als Deutschland. Ein Umlenken auf eine nachhaltige Energieversorgung benötigt daher einen strategischen Ansatz. Diesen kann nur eine langfristig ausgelegte und konsistent weiterentwickelte Energiepolitik leisten. Einmal angesteuerte Fehlentwicklungen sind nur schwierig zu korrigieren.

Die Biomasse ist nur eines von vielen Standbeinen der zukünftigen Energieversorgung sein. Sie bietet aber ein verlässliches Potenzial, das die anderen erneuerbaren Energien variabel ergänzt und in seiner Anwendungsbreite noch nicht ausgeschöpft ist. Diese ausgeprägte Dynamik der Bioenergie wird von erhöhten Forschungsbemühungen begleitet. Seit 2003 wurden zahlreiche Projekte zum Thema Biomasse und Potenziale auf europäischer Ebene gestartet. Beispiele dafür sind folgende große Verbundprojekte:

- Nachhaltige Biomassenutzungsstrategien im europäischen Kontext³⁰, u. a. bearbeitet vom IE Leipzig (Thrän et al. 2006)
- VIEWLS: Clear Views on Clean Fuels; Data, Potentials, Scenarios, Markets and Trade of Biofuels³¹
- Environmentally enhanced biomass potential from agriculture³² bearbeitet vom Öko-Institut e. V. und Alterra (vgl. auch EEA 2006)

Der Umfang dieser Projekte ist ein Indikator für den rasanten Aufschwung, den die Bioenergie in Europa derzeit erlebt, angetrieben vom weltweit wachsenden Energiebedarf und

²⁹ Hier OECD-Europa: Gesamtheit aller europäischer Staaten, die Mitglied der OECD sind.

³⁰ <http://www.ie-leipzig.de/Biomassenutzung/Biomasse.htm>

³¹ <http://viewls.viadesk.com/>

³² http://reports.eea.eu.int/briefing_2005_2/en

den immer knapper werdenden fossilen Reserven. Damit dieser Boom zu einem nachhaltigen Ausbau der Biomassenutzung führt, sind zahlreiche Restriktionen zu berücksichtigen, wie die vorliegende Arbeit zeigt. Es bleibt zu hoffen, dass sich die nun angestoßene Entwicklung selbstverstärkend fortsetzt.

Der Ausbau der Biomassenutzung und der erneuerbaren Energien allein wird jedoch die zukünftigen Energieprobleme nicht lösen. Langfristig besteht die Gefahr, dass der weltweit ansteigende Energiebedarf jegliche Nachhaltigkeitskriterien vergessen lässt. Wenn die Attraktivität der Biomasse durch die Energiepreise extrem steigt, dann könnte die Nutzung soweit ausgedehnt werden, dass sie nicht mehr nachhaltig ist. Die Folgen einer nicht nachhaltigen Biomassenutzung sind aber bereits weitgehend aus Entwicklungsländern mit traditioneller Biomassenutzung bekannt: Abholzung über den jährlichen Nachwuchs hinaus, Verlust von Böden durch Übernutzung, was zu Erosion und Versalzung führt und andere Probleme, die aus Forst- und Landwirtschaft bekannt sind. In diesem Fall ist auch die Biomasse keine erneuerbare und nachhaltige Energie mehr und die ursprünglichen Anstrengungen, diesen Energiesektor aufzubauen werden ad absurdum geführt. Es gilt also einen Mittelweg zu finden, dessen Leitziel eine nachhaltige Entwicklung weltweit ist. Das Modell HEKTOR dient dazu, die verschiedenen Nachhaltigkeitskriterien konsistent abzubilden und mit seine Szenarien zur Identifizierung und Vermeidung dieser Probleme beitragen.

8 Zusammenfassung

Die derzeitige Energieversorgung basiert auf fossilen Energieträgern, die zukünftig knapper werden und deren CO₂-Emissionen für den Klimawandel mitverantwortlich gemacht werden. Neben Energieeinsparungen und effizienteren Technologien können erneuerbare Energien helfen, fossile Energieträger zu ersetzen. Erneuerbare Energien sind daher integraler Bestandteil von Strategien für eine nachhaltige Entwicklung.

Erneuerbare Energien sind im Gegensatz zu fossilen Energien im menschlichen Maßstab unerschöpflich. Sie sind Teil aktueller Energie- und Stoffkreisläufe und weitgehend CO₂-neutral. Biomasse – also alle organischen Stoffe, die durch Pflanzen und Tiere aufgebaut werden oder aus deren Umsetzung entstehen – ist derzeit der wichtigste erneuerbare Energieträger. Bei Biomasse wird unterschieden nach Rest- bzw. Abfallstoffen und Anbaubiomasse, bei der Energie das Hauptprodukt ist. Da Biomasse gespeicherte Energie darstellt, können zeitliche und räumliche Angebotsbegrenzungen überbrückt werden. Dadurch kann die Energieproduktion besser an die Nachfrage angepasst werden. Als stoffliche Speicherform von Energie ist Biomasse bisher die einzige erneuerbare Option für den Treibstoffsektor (vgl. Kapitel 2).

Die Nutzung der Biomasse wird begrenzt durch den Aufwuchs an Pflanzenmaterial und den Anfall an Reststoffen sowie zahlreichen technischen und ökonomischen Restriktionen. Daraus ergibt sich das Potenzial der Biomasse in der zukünftigen Energieversorgung. Damit diese sich zukünftig nachhaltig entwickelt, muss die Biomasse jedoch auch nachhaltig erzeugt werden. Daher sind Nutzungskonkurrenzen bei der Bereitstellung zu berücksichtigen. Letzteres betrifft vor allem die Landwirtschaft, welche die Flächen für den Energiepflanzenanbau liefert. Die vorliegende Arbeit geht daher der Frage nach, wie viel Fläche die Landwirtschaft bis 2030 zur Erzeugung von Energiebiomasse bereitstellen kann und wie sich das Reststoffpotenzial aus der Landwirtschaft verändert.

Dazu ist eine umfassende Analyse der Flächennutzung in der Landwirtschaft einer definierten Region erforderlich, deren landwirtschaftliche Gesamtproduktion letztendlich begrenzt ist. Für eine Region sind einerseits die physikalisch-stofflichen Zusammenhänge der Produktion zu betrachten, andererseits die politischen Rahmenbedingungen und ihr Einfluss auf die Landwirtschaft. Für eine derart dynamische Betrachtung liegen bisher vorwiegend globale Studien vor. Die vorliegende Arbeit berücksichtigt darüber hinaus die Konkurrenz durch Flächennutzungen außerhalb der Landwirtschaft, wie Siedlung und Verkehr sowie Naturschutz. Dies ist bei bisherigen Potenzialabschätzungen ungenügend erfolgt (vgl. Kapitel 3).

Im Hinblick auf variierende politische Rahmenbedingungen interessieren auch nationale Potenziale, die über Ex- und Import wiederum mit Nachbarländern in Wechselwirkung treten können. Erst auf nationaler Ebene lassen sich Konkurrenzbeziehungen mit gesellschaftlichen Anforderungen hinsichtlich Flächenverbrauch oder Nachhaltigkeit betrachten.

Die vorliegende Arbeit entwickelt das Modell HEKTOR (vgl. Kapitel 4). Es analysiert Landnutzung und Biomasseerzeugung und integriert Nahrungsmittel- und Energieerzeugung. HEKTOR besteht aus einer Reihe verknüpfter Excel-Dateien. Um die zeitliche Dynamik darstellen zu können, werden Berechnungen für sechs Stützzeitpunkte bis 2030 ausgeführt. Das Modell verfügt über eine Dateneingabemaske, durch deren Variation verschiedene Ent-

wicklungspfade für den Agrarsektor bis 2030 in Form von Szenarien erzeugt werden können. Aufgrund der genutzten statistischen Datenbasis ist HEKTOR innerhalb der EU leicht auf verschiedene Mitgliedsstaaten anpassbar. Darüber hinaus können auch veränderte Rahmenbedingungen flexibel eingepasst werden.

Das Basis-Modell entstand für Deutschland in enger Zusammenarbeit mit dem Institut für angewandte Ökologie e. V., Darmstadt im Rahmen des Projekts *Stoffstromanalyse zur nachhaltigen energetischen Nutzung von Biomasse* (Fritsche et al. 2004a) und wurde innerhalb des Projekts *Potenziale der Biomasse für Energieerzeugung und landwirtschaftliche Einkommen nach der EU-Osterweiterung* weiter entwickelt.

In HEKTOR bestehen folgende Wirkzusammenhänge: Der Anbau von Energiebiomasse kann in der Landwirtschaft auf Flächen stattfinden, die nicht für die Produktion von Nahrungsmitteln genutzt werden. Daher wird zunächst die Fläche für die Nahrungsmittelproduktion eines Landes ermittelt. Ausgehend von Bevölkerung und Pro-Kopf-Verbrauch an Nahrungsmitteln ergibt sich der Gesamtnahrungsverbrauch. Dieser wird mittels Futterplänen, Ertragsdaten und Selbstversorgungsquoten in Flächennutzung umgewandelt. Für die pflanzliche und tierische Produktion werden verschiedene Produktionsprozesse unterschiedlicher Intensität definiert, die der Produktionsfortschreibung in der Zeit innerhalb von Szenarien dienen. Der ermittelte Flächenbedarf wird von der landwirtschaftlich genutzten Fläche eines Landes abgezogen. Es verbleibt ein Flächensaldo, der in Grünland und Ackerland unterschieden wird.

In einem weiteren Schritt wird die Flächennachfrage außerhalb der Landwirtschaft berücksichtigt. Sie setzt sich aus Flächenverbrauch für Siedlung und Verkehr und Flächenbedarf für Naturschutz zusammen. Beide Nutzungsvarianten werden zukünftig mehr Flächen nachfragen, die heute noch landwirtschaftlich genutzt werden.

Ergebnis des Modells sind die für den Energiepflanzenanbau verfügbaren Flächen sowie der Reststoffanfall, der sich aus der Nahrungsmittelproduktion ableitet. Zur Umrechnung in Energiepotenziale werden die Flächen mit einem konstanten Anbaumix aus einjährigen und mehrjährigen Kulturen belegt.

Zunächst wurde ein Modellrahmen erstellt, der die Entwicklung der Flächennutzung fortgeschrieben (vgl. Kapitel 5). Für die Nahrungsmittelproduktion werden verschiedene Parameter durch Trendberechnungen und anhand einschlägiger Studien zur Politikfolgenabschätzung fortgeschrieben. Die wichtigsten darunter sind der Pro-Kopf-Verbrauch von Lebensmitteln, die Erträge im Pflanzenbau und die Anteile extensiver und intensiver Produktionssysteme. Bestehende Abschätzungen, z. B. für die Bevölkerungsentwicklung wurden integriert. Datenbasis ist die amtliche Statistik der Europäischen Union, ergänzt durch nationale Statistiken und Expertenerhebungen.

Die weitere Untersuchung der Flächen- und Reststoffpotenziale aus der Landwirtschaft erfolgt innerhalb von Szenarien, welche die Konsequenzen verschiedener Randbedingungen für Entwicklungsoptionen ermitteln (vgl. Kapitel 6). Innerhalb dieser Szenarien werden die Parameter variiert, deren zukünftige Abschätzung aufgrund mangelnder Datenlage oder des langen Betrachtungshorizonts besonders schwierig sind. Dazu zählt die Beschreibung der künftigen Marktentwicklung. Im Modell werden dafür die Selbstversorgungsgrade für Nahrungsmittel herangezogen. Zusätzlich werden in den Szenarien diejenigen Parameter variiert, die besonders starken Einfluss auf das Flächen- und Reststoffpotenzial ausüben.

Diese wurden durch eine Sensitivitätsanalyse identifiziert. Die Potenziale werden insbesondere durch die Selbstversorgung mit Getreide und die Intensität bzw. Extensivierungsbemühungen in der Landnutzung beeinflusst.

Für die Analyse der Energiepotenziale wurden Szenarien erstellt, die mögliche zukünftige Entwicklungspfade für das landwirtschaftliche Biomassepotenzial abbilden (vgl. Kapitel 6.1): Das Referenzszenario führt die aktuellen Entwicklungen ohne Politikwechsel in die Zukunft weiter. Das Nachhaltigkeitsszenario sieht eine konsequente Umsetzung gesellschaftlicher Nachhaltigkeitsziele vor. Dies sind vor allem eine verstärkte Extensivierung der Landwirtschaft und höhere Ausweisung von Naturschutzflächen, die mit dem Energiepflanzenanbau um Flächen konkurrieren. Andere Nachhaltigkeitsziele, wie die Einschränkung des Flächenverbrauchs und die bessere Mobilisierung von Reststoffen zur Energieerzeugung liefern dagegen Synergien.

Neben den genannten Faktoren wird in einer Szenarette zu reduzierten Exporten untersucht, welche Wirkung der Abbau subventionierter Lebensmittelexporte aus der Europäischen Union auf das Biomassepotenzial ausübt. Dies betrifft vor allem Exporte von Getreide und Zucker. Diese werden um den europäischen Überschuss vermindert, wodurch zusätzliche Flächen für die Biomasseerzeugung freigesetzt werden.

Die Energiepotenziale aus landwirtschaftlicher Biomasse erreichen in den verschiedenen Szenarien bis 2030 in den beiden großen Ländern Deutschland und Polen etwa 700-800 PJ/a bzw. 540-810 PJ/a, in Bayern und Tschechien je rund 100-130 PJ/a und in Ungarn ca. 130-260 PJ/a.

Die landwirtschaftlichen Reststoffe stellen in allen Ländern ein über den gesamten Betrachtungszeitraum verlässliches Potenzial dar, dessen Höhe relativ konstant, aber begrenzt ist. Die Anbaupotenziale entwickeln hingegen eine wesentlich stärkere Dynamik, die durch die wachsende Verfügbarkeit an Flächen und durch den Ertragszuwachs entsteht. Bis Ende des Betrachtungshorizonts könnten 3/4 der landwirtschaftlichen Bioenergie aus dem Anbau von Energiepflanzen stammen (vgl. Kapitel 6.2).

Der Vergleich zwischen den Szenarien zeigt, wie stark unterschiedliche ökologische Ziele wie Klimaschutz und Naturschutz im Rahmen der Flächennutzung in Konflikt geraten können. Darüber hinaus zeigt das Nachhaltigkeitsszenario auch Ansatzpunkte für eine Entschärfung der Flächenkonkurrenz auf, etwa die Reduktion des Flächenverbrauchs und eine verstärkte Reststoffnutzung. In Polen und Ungarn ist die Konkurrenz nicht so ausgeprägt: Erstens können sich hier zukünftig sehr hohe Flächenpotenziale für den Bioenergieanbau entwickeln; zweitens müssen die extensiven Bewirtschaftungssysteme „nur“ erhalten und nicht erneut entwickelt werden. Die Steuerung des Erhalts dürfte wesentlich leichter sein. Werden diese Ziele beim Ausbau der Biomassenutzung nicht bereits berücksichtigt, kann umgekehrt die Biomasseerzeugung restriktiv auf den Naturschutz wirken. Hier ist die Politik gefragt, um die weitere Förderung der Biomasse so zu gestalten, dass ein sinnvoller Kompromiss zwischen Bioenergienutzung und Umwelt- und Naturschutz gefunden wird (vgl. Kapitel 7.1).

Die Szenarette zu reduzierten Exporten zeigt aber, dass die Spielräume für die Bioenergie durch die Verknüpfung mit Nahrungsmittelmärkten noch viel größer sind. Insbesondere wenn sich zwischen Energie- und Nahrungsmittelerzeugung Konkurrenzbeziehungen ergeben, kann es zu einer Umwidmung von Nahrungsmittelflächen kommen. Daraus folgt, dass Bioenergie-

nutzung nur dann nachhaltig erfolgen kann, wenn gleichzeitig eine nachhaltige Versorgung mit Lebensmitteln gewährleistet ist. Langfristig sind bei der Förderung der Bioenergie die Auswirkungen auf die Weltmärkte mit Nahrungsmitteln zu berücksichtigen. Eine wichtige Herausforderung für die zukünftige Nutzung von Energiebiomasse ist demnach eine nachhaltige Gestaltung der Flächennutzung.

Der Anteil, den die heimische Biomasse zur zukünftigen Energieversorgung beitragen kann, schwankt in den betrachteten Ländern sehr stark. In Deutschland, Bayern und Tschechien können nachhaltige landwirtschaftliche Biomassepotenziale 5 – 10 % des Primärenergieverbrauchs stellen. In Ungarn und Polen sind die Potenziale mit 10 – 25 % der gesamten Energieversorgung wesentlich höher (vgl. Kapitel 7.3). Ob die Biomassenutzung schnell genug ausgebaut wird, um alle Potenziale auszuschöpfen, ist aber fraglich. In diesem Fall könnten neue Handelsbeziehungen zu einer stärkeren Mobilisierung des Potenzials beitragen. An dieser Stelle muss auch eine stärkere Verknüpfung mit Nachhaltigkeitskriterien im Lebensmittelhandel erfolgen, der mit einer verstärkten Nutzung der Bioenergie in Konkurrenz treten könnte. Eine nachhaltige Energieversorgung ist damit nur *eine* Facette einer nachhaltigen Entwicklung, die eine konsequente Umsetzung von Nachhaltigkeitszielen in unterschiedlichen Bereichen fordert. Für den Bereich der Flächenkonkurrenz kann HEKTOR diese Konkurrenzen und Synergien auf regionaler Ebene umfassend darstellen.

9 Summary

The current energy supply is based on fossil fuels, which will be scarce in the future and are blamed to increase for climate change by CO₂-emissions. In addition to saving energy and the use of more efficient technologies, the use of renewable energy presents a potential solution for these problems. Renewable energy is, therefore, an integral component in sustainable development strategies.

In contrast to fossil fuels, renewable energies are, on a human scale, unlimited. They are part of the current energy and material cycle and are, for the most part, CO₂ neutral. Biomass – that is, all organic substances which are produced by plants and animals or from the breakdown of their substances, is at the moment the most important renewable energy source. Biomass is categorized according to residue, waste and cultivated biomass, from which energy is the main product. Since biomass represents stored energy, temporal and spatial resource limitations can be overcome. In this way, energy production can be adjusted to the actual demand. Thus so far, biomass is the only renewable energy alternative for the fuel sector (see chapter 2).

The use of biomass is limited by plant growth and the availability of residue material as well as by numerous technical and economical restrictions. This study presents the potential of biomass for the future energy supply. In order that this potential is sustainably developed, the biomass production must be sustainable. Therefore, land use conflicts within the production process need to be considered. The latter applies above all to the agricultural sector, which provides the land for cultivation of the plants. Thus, this study aims to determine how much area the agricultural sector can provide for the production of energy crops by 2030 and how the residue potential from agriculture changes.

This requires a comprehensive analysis of the land use in the agricultural sector of a defined region, in which the total agricultural production is ultimately limited. For a region, not only the physical processes related to production must be considered, but also the political framework and its influence on agriculture. So far, predominately global studies have been done for such a dynamic analysis. This study additionally considers the competition for land use outside of the agricultural sector, such as building areas and infrastructure as well as nature conservation. These aspects have been given insufficient attention in previous potential estimations (see chapter 3). In regard to varying political frameworks, consideration is especially given to national potentials, which via export and import could in turn interact with neighboring countries. In terms of land use or sustainability, competition with societal demands can only be considered on a national level.

The HEKTOR model was developed in this study (see chapter 4). It analyzes the land use and biomass production and in addition, integrates food and energy production. HEKTOR is comprised of a series of linked Excel files. In order to present the time dynamic, calculations for six time points up to 2030 have been run. The model contains a data entry in which varying development scenarios for the agriculture sector are produced. Due to the statistical database used, HEKTOR is easily adaptable to different EU member states. Furthermore, it is flexible thus adaptable to changing frameworks.

The basic model was produced for Germany in close cooperation with the Institute for Applied Ecology in Darmstadt under the project *Material flow analysis of sustainable biomass use for energy* (Fritsche et al. 2004a) and was further developed within the project *The potential of biomass for energy production and agricultural revenues after the European expansion*.

HEKTOR comprises various influencing factors: The cultivation of energy crops can occur on agriculture lands that are not in use for food production. In this sense, the area in a country used for foodstuffs is to be calculated first. Based on the population and the per-head-consumption of foodstuffs, a total consumption can be calculated. This is then converted to a land use area by using fodder plans, yield data and self-sufficiency quotas. For plant and live-stock production, different production processes with varying intensities are defined. These serve to extrapolate production scenarios for the future. The calculated area required is subtracted from the area designated as agricultural areas in a country. The remaining area balance is separated into grassland and arable area. In an additional step, the land area demand outside of agriculture is considered. This combines the area requirement for building and infrastructure with nature protection. Both types will demand more area that has to be provided by land that is currently used for agriculture.

The results from the model will reveal the available land for energy crops as well as the residue potential, which is derived from food production. To calculate the energy potential, the land area is represented by a constant cultivation mix of annual and perennial crops.

Next, a model framework was developed, which projects the future land use (see chapter 5). For food production, different parameters are modeled by linear trends and extrapolated based on relevant studies on policy impact assessments. The most important among the parameters are per-head-consumption of food crops, plant yield, and the proportion of extensive and intensive production systems. Existing estimations, for example population development, were integrated. The official statistics of the European Union, complemented with national statistics and expert inquiries were used for the database.

Further analysis of the area and residue potential from agriculture is done through scenarios which calculate the consequences of a varying framework for the agricultural biomass potential (see chapter 6). Within these scenarios, the parameters which are difficult to estimate due to lack of data or time limitations are varied. This includes the development of the market in the future. For this purpose, the model calls upon the degree of self-sufficiency for food stuffs. In addition, the parameters which have a strong influence on the area and residue potential are also varied. These have been identified with a sensitivity analysis. The potentials are especially influenced by the self-sufficiency of grains as well as the intensity, respective to the efforts made toward a more extensive land use.

For the analysis of energy potentials, first a reference scenario was prepared, which shows the current development without a political change in the future. Then a sustainability scenario was produced, in which a consistent implementation of social sustainability goals was favored. Above all, the enhanced extensification of agriculture and the increase in the designation of nature conservation areas is competing with energy crop production for the remaining available land. For other goals, such as the constraint on land use for building activity and the improved mobility of residues for energy production there are synergies.

In a mini-scenario the reduction of exports subsidized by the European Union is analyzed. This concerns, above all, the export of grains and sugar. These exports are reduced by the European surplus. This frees additional land for the production of energy crops.

The energy potential which can be attained from residues and energy crops in the various scenarios until 2030 differs between approximately 700-800 PJ/a and 540-810 PJ/a for Germany and Poland, for Bavaria and the Czech Republic between ca. 100-130 PJ/a and for Hungary between 130-260 PJ/a.

In all countries and for the entire time period considered, agricultural residues reveal reliable potentials with relatively constant, but limited values. The potentials from energy crops develop a considerably strong dynamic. This results, on the one hand, from the increasing availability of area, and on the other hand from the increasing yields. Up until the end of the modeled time period, 3/4 of the agricultural bioenergy could come from the cultivation of energy crops (see chapter 6.2).

The comparison of the scenarios shows how strong the different ecological goals, for example climate protection and nature conservation, can come into conflict, regarding land use. In contrast, the sustainability scenario also reveals a movement toward easing the land competition by means of reducing land use and an intensified use of residues. These conflicts are not so pronounced in Poland and Hungary: First of all, there is a very high area potential for the cultivation of energy crops; second, the extensive agriculture systems “only” need to be maintained, not restored. Controlling maintenance should be substantially easier. If these goals are not considered with the development of biomass use, then biomass production can inversely restrict nature protection. Here, policy is challenged to further promote bioenergy in a way in which a reasonable compromise between bioenergy, environment and nature protection can be found (see chapter 7.1).

The mini-scenario for reduced exports shows, however, that the opportunity for bioenergy is still much larger due to the link to the food markets. Especially the growing competition between energy and food production could lead to a re-designation of land area for food production. Hence, bioenergy use can only be sustainable when, simultaneously, a sustainable supply of foodstuffs is maintained. On a long-term basis, the promotion of bioenergy should consider the effects on the supply of foodstuffs in the world market. An important challenge for the future use of energy biomass is the sustainable development of land use.

The percentage that native biomass can contribute to the future energy supply varies greatly among the countries examined. Germany, with Bavaria, and the Czech Republic could supply sustainable biomass potentials between 5-10%. In Hungary and Poland, the potentials are considerably higher, namely 10-25% of the total energy supply (see chapter 7.3). Whether or not bioenergy can be developed fast enough to utilize the total potential is questionable. In this case, increasing trade relations for biomass could lead to a stronger mobilization of the potentials. Here, there needs to be a stronger link to the sustainability criteria in the foodstuff market, that can contend with an intensified use of bioenergy. A sustainable energy supply is then only a facet of a sustainable development. This calls for a consistent implementation of sustainability goals in the different sectors. HEKTOR can serve as a tool to analyze these competitions and synergies in land use on a regional level.

10 Literatur

- Abele, S., K. Froberg, M. Hartmann, A. Matthews und P. Weingarten (2004). Consumption trends for dairy and livestock products, and the use of feeds in production, in the CEE accession and candidate countries. Institut für Agrarentwicklung in Mittel und Osteuropa (IAMO), Halle.
- Agra-Europe (2003a). Grünlandbewirtschaftung – unverzichtbar für Bayern. Agra-Europe 03 (29): Kurzmeldungen 8.
- Agra-Europe (2003b). Preisaufschlag für Ökoschweinefleisch bis zu 100%. Agra-Europe 03 (31): Markt+Meinung 6.
- Agra-Europe (2004). WTO-Mitgliedstaaten einigen sich über Liberalisierung des Agrarhandels. Agra-Europe 04 (31): Kurzmeldungen 22.
- Agra-Europe (2005a). Bayern will Flächenverbrauch weiter verringern. Agra-Europe 05 (10): Kurzmeldungen 9.
- Agra-Europe (2005b). Milchquote in Polen schwer durch- und umsetzbar. Agra-Europe 05 (04): Länderberichte 11.
- Agra-Europe (2005c). Polens Rinderproduktion mit nur geringem Wachstumspotenzial. Agra-Europe 05 (3): Markt+Meinung 6.
- Agra-Europe (2005d). WTO zwingt Europäische Union zu radikaler Zuckermarktreform. Agra-Europe 05 (18): Europa-Nachrichten 8.
- AID, Hrsg. (2003). Biogasanlagen in der Landwirtschaft. Bonn, aid infodienst.
- Alecke, B., H. Hofmann, V. Meier, J. Riedel, F. Schar, G. Untiedt und M. Werding (2001). Auswirkungen der EU-Osterweiterung auf Wirtschaft und Arbeitsmarkt in Bayern. Studie im Auftrag des Bayerischen Staatsministeriums für Wirtschaft, Verkehr und Technologie. München, Ifo-Institut für Wirtschaftsforschung, Forschungsbereich Sozialpolitik und Arbeitsmärkte.
- ATB (2002). Grundlagen und Verfahren der Biogaserzeugung, Leibniz - Institut für Agrartechnik Bornim e. V. http://www.atb-potsdam.de/hauptseite-deutsch/ATB-aktuell/Presse/P-Archiv-aktuell/p_info13_02-dateien/Grundlagen_und_Verfahren_der_Biogaserzeugung.pdf
- Bachthaler, G., Hrsg. (1992). Pflanzliche Erzeugung. Die Landwirtschaft. München, BLV.
- Bayerisches Statistisches Landesamt (2004). Bayerndaten 2004. Bayerisches Landesamt für Statistik und Datenverarbeitung, München.
- Berndes, G., M. Hoogwijk und R. van den Broek (2003). The contribution of biomass in the future global energy supply: a review of 17 studies. Biomass & Bioenergy 25 (1): 1-28.
- Bernhardt, D., D. Jäger, I. Heisterkamp und K. Lanje (2005). Ethanol aus Zucker? Aus Ökologischer und sozialer Perspektive. Aktionstage Ökolandbau NRW, Bielefeld, German Watch.
- BGR (2003). Reserven, Ressourcen und Verfügbarkeit von Energierohstoffen 2002. Rohstoffwirtschaftliche Länderstudien/Heft XXVII. Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (Hrsg.). Hannover.
- BMU (2004a). Biomasse: Energiequelle mit großer Zukunft, Presseerklärung des Bundesumweltministeriums vom 4.5.2004. <http://www.erneuerbare-energien.de/inhalt/5848/4593/>
- BMU (2004b). Erneuerbare Energien – Innovationen für die Zukunft. Berlin, Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit.
- BMU (2005). Umweltpolitik – Erneuerbare Energien in Zahlen – nationale und internationale Entwicklung. Berlin, Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit.
- BMVEL (2001). Statistisches Jahrbuch über Ernährung Landwirtschaft und Forsten. Bundesministerium für Verbraucherschutz, Ernährung und Landwirtschaft (Hrsg.). Berlin, Landwirtschaftsverlag Münster-Hiltrup.
- BMVEL (2002a). Agenda 2000, pflanzlicher Bereich, Agrarumweltmaßnahmen. Bonn, Bundesministerium für Verbraucherschutz, Ernährung und Landwirtschaft.

- BMVEL (2002b). Agenda 2000, Tierprämien. Bonn, Bundesministerium für Verbraucherschutz, Ernährung und Landwirtschaft.
- BMVEL (2002c). Erste Verordnung zur Änderung der Tierschutz-Nutztierhaltungsverordnung. Bundesgesetzblatt Jahrgang 2002 Teil I Nr. 16.
- BMVEL (2003). Statistisches Jahrbuch über Ernährung Landwirtschaft und Forsten. Bundesministerium für Verbraucherschutz, Ernährung und Landwirtschaft (Hrsg.). Münster, Landwirtschaftsverlag Münster-Hiltrup.
- BMVEL (2004). Statistisches Jahrbuch über Ernährung Landwirtschaft und Forsten. Bundesministerium für Verbraucherschutz, Ernährung und Landwirtschaft (Hrsg.). Münster, Landwirtschaftsverlag Münster-Hiltrup.
- BMVEL (2005a). Ernährungs- und agrarpolitischer Bericht der Bundesregierung. Berlin, Bundesministerium für Verbraucherschutz, Ernährung und Landwirtschaft.
- BMVEL (2005b). Meilensteine der Agrarpolitik – Umsetzung der europäischen Agrarreform in Deutschland. Bundesministerium für Verbraucherschutz, Ernährung und Landwirtschaft, Berlin.
- BMVEL (verschiedene Jahrgänge). Statistisches Jahrbuch über Ernährung Landwirtschaft und Forsten. Bundesministerium für Verbraucherschutz, Ernährung und Landwirtschaft (Hrsg.). Münster, Landwirtschaftsverlag Münster-Hiltrup.
- BMWA (2004). Energiedaten, Zahlen und Fakten – Nationale und Internationale Entwicklung, Bundesministerium für Wirtschaft und Arbeit, Referat IX A 2.
<http://www.bmwa.bund.de/Navigation/Technologie-und-Energie/Energiepolitik/energiedaten.html>
- BNatSchGNeuregG (2002). Gesetz über Naturschutz und Landschaftspflege, BGBI I 2002, 1193.
- Bockisch, F.-J., Hrsg. (2000). Bewertung der Verfahren der ökologischen und konventionellen landwirtschaftlichen Produktion im Hinblick auf Energieeinsatz und bestimmte Schadgasemissionen. Landbauforschung Völkenrode, Sonderheft. Braunschweig.
- Böckmann, D. und H.-W. Windhorst (2001). Die wirtschaftliche Bedeutung der Geflügelwirtschaft Deutschland vor dem Hintergrund des sich verändernden Rechtsrahmens in der Geflügelhaltung. Institut für Strukturforchung und Planung in agrarischen Intensivgebieten der Hochschule Vechta (Hrsg.).
- Bradley, D. (2005). Canada Biomass-Bioenergy Report, Climate Change Solutions, IEA Bioenergy Task 40 – Biotrade. <http://www.fairbiotrade.org/downloads/douglascanadacountryreport.pdf>
- Briemle, G. (1990). Extensivierung von Dauergrünland – Forderungen und Möglichkeiten –. Landwirtschaftliches Jahrbuch 67 (3).
- Bundesregierung (2003). Perspektiven für Deutschland – Unsere Strategie für eine nachhaltige Entwicklung. http://archiv.bundesregierung.de/artikel/69/585869/attachment/585868_0.pdf
- BWaldG (1975). Gesetz zur Erhaltung des Waldes und zur Förderung der Forstwirtschaft, BGBI I 1975, 1037.
- CZSO (2004). Statistical Yearbook of the Czech Republic 2004, Czech Statistical Office.
<http://www.czso.cz/eng/edicniplan.nsf/p/10n1-04>
- De La Torre Ugarte, D. G. und D. Ray (2000). Biomass and bioenergy applications of the POLYSYS modeling framework. Biomass & Bioenergy 18 (4): 291-308.
- DESTATIS (2004a). Statistisches Jahrbuch für das Ausland. Wiesbaden, Statistisches Bundesamt.
- DESTATIS (2004b). Statistisches Jahrbuch für Deutschland. Wiesbaden, Statistisches Bundesamt.
- DG AGRI (2002a). Agricultural Situation in the Candidate Countries, Country Report on Hungary. European Commission, Directorate-General for Agriculture, Brüssel.
- DG AGRI (2002b). Agricultural Situation in the Candidate Countries, Country Report on Poland. European Commission, Directorate-General for Agriculture, Brüssel.
- DG AGRI (2002c). Agricultural Situation in the Candidate Countries, Country Report on the Czech Republic. European Commission, Directorate-General for Agriculture, Brüssel.

- DG AGRI (2002d). Analysis of the Impact on Agricultural Markets and Incomes of EU Enlargement to the CEECs. European Commission, Directorate-General for Agriculture.
- DG AGRI (2002e). Country Report on Poland. European Commission, Directorate-General for Agriculture, Brüssel.
- DG AGRI (2004a). GAP – Die Gemeinsame Agrarpolitik erklärt. Europäische Kommission, Generaldirektion Landwirtschaft und ländliche Entwicklung, Brüssel.
- DG AGRI (2004b). Prospects for agricultural markets and income 2004 – 2011 for EU-25. European Commission, Directorate-General for Agriculture, Brüssel.
- Döhler, H., B. Eurich-Menden, U. Dämmgen, B. Osterburg, M. Lütich, A. Bergschmidt, W. Berg und R. Brunsch (2002). BMVEL/UBA-Ammoniak-Emissionsinventar der deutschen Landwirtschaft und Minderungszenarien bis zum Jahre 2010. Umweltbundesamt (Hrsg.). Berlin.
- Dreier, T. (2000). Ganzheitliche Systemanalyse und Potenziale biogener Kraftstoffe. IfE-Schriftenreihe. Lehrstuhl für Energiewirtschaft und Anwendungstechnik (Hrsg.), Technische Universität München.
- Edelmann, W. (2001). Biogaserzeugung und -nutzung. Energie aus Biomasse. M. Kaltschmitt, H. Hartmann. Berlin, Springer-Verlag.
- EEA (2004). High nature value farmland – Characteristics, trends and policy challenges. European Environment Agency, Copenhagen.
- EEA (2006). How much biomass can Europe produce without harming the environment? EEA Report. Copenhagen, European Environment Agency.
- EEG (2004). Gesetz für den Vorrang Erneuerbarer Energien, BGBl I 2004, 1918.
- Enquete, Hrsg. (1990). Energie und Klima – Erneuerbare Energien. Energie und Klima. Bonn, Karlsruhe, Darmstadt, Economica Verlag, Verlag C. F. Müller.
- Enquete (2002). Endbericht der Enquete-Kommission des Deutschen Bundestags für nachhaltige Energieversorgung unter den Bedingungen der Globalisierung und Liberalisierung. Berlin.
- EU-Kommission (1997). Energie für die Zukunft: Erneuerbare Energieträger – Weißbuch für eine Gemeinschaftsstrategie und Aktionsplan. Kommission der Europäischen Gemeinschaften (Hrsg.). Brüssel.
- EU-Kommission (1998). Mitteilungen der Kommission an den Rat und das europäische Parlament über eine Gemeinschaftsstrategie zur Erhaltung der Artenvielfalt. Kommission der Europäischen Gemeinschaften, Brüssel.
- EU-Kommission (1999a). Agenda 2000, Stärkung und Erweiterung der Europäischen Union. Kommission der Europäischen Gemeinschaften (Hrsg.). Brüssel.
- EU-Kommission (1999b). Council Regulation (EC) No. 1268/1999. Official Journal of the European Communities L161 (87).
- EU-Kommission (2001a). Communication from the Commission to the Council and the European Parliament – Biodiversity Action Plans in the areas of Conservation of Natural Resources, Agriculture, Fisheries, and Development and Economic Co-operation. Kommission der Europäischen Gemeinschaften, Brüssel.
- EU-Kommission (2001b). Mitteilung der Kommission an den Rat, das Europäische Parlament; den Wirtschafts- und Sozialausschuss und den Ausschuss der Regionen – über die Umsetzung der Gemeinschaftsstrategie und des Aktionsplans zu erneuerbaren Energiequellen (1998 - 2000). Kommission der Europäischen Gemeinschaften, Brüssel.
- EU-Kommission (2002). Mitteilung der Kommission an den Rat, das Europäische Parlament; den Wirtschafts- und Sozialausschuss und den Ausschuss der Regionen – Hin zu einer spezifischen Bodenschutzstrategie. Kommission der Europäischen Gemeinschaften, Brüssel.
- EU-Kommission (2003). Der Weg zu einer Reform der Zuckerpolitik der Europäischen Union. Kommission der Europäischen Gemeinschaften, Brüssel.
- EU-Kommission (2004a). Enlargement and agriculture, Kommission der Europäischen Gemeinschaften. http://europa.eu.int/comm/agriculture/publi/enlarge/text_en.pdf

- EU-Kommission (2004b). European energy and transport – Scenarios on key drivers. European Commission, Directorate-General for Energy and Transport, Brüssel.
- EU-Kommission (2004c). Mitteilungen der Kommission an den Rat und das europäische Parlament – Der Anteil erneuerbarer Energien in der EU. Kommission der Europäischen Gemeinschaften, Brüssel.
- EU-Kommission (2004d). Mitteilungen der Kommission an den Rat und das europäische Parlament – Europäischer Aktionsplan für ökologische Landwirtschaft und ökologisch erzeugte Lebensmittel. Kommission der Europäischen Gemeinschaften, Brüssel.
- EU-Kommission (2004e). Verordnung (EG) Nr. 795/2004 der Kommission mit Durchführungsbestimmungen zur Einhaltung anderweitiger Verpflichtungen, zur Modulation und zum Integrierten Verwaltungs- und Kontrollsystem nach der Verordnung (EG) Nr. 1782/2003 des Rates mit gemeinsamen Regeln für Direktzahlungen im Rahmen der Gemeinsamen Agrarpolitik und mit bestimmten Stützungsregelungen für Inhaber landwirtschaftlicher Betriebe. Amtsblatt der Europäischen Union 47 (L 141): 41.
- EU-Kommission (2005a). Aktionsplan für Biomasse, European Commission, Directorate-General Energy and Transport.
http://europa.eu.int/comm/energy/res/biomass_action_plan/doc/2005_12_07_comm_biomass_action_plan_de.pdf
- EU-Kommission (2005b). Natura 2000 Barometer, Kommission der Europäischen Gemeinschaften.
http://europa.eu.int/comm/environment/nature/nature_conservation/useful_info/barometer/barometer.htm
- EU-Parlament und Rat der EU (2001). Richtlinie 2001/77/EG des Europäischen Parlaments und des Rates zur Förderung der Stromerzeugung aus erneuerbaren Energiequellen im Elektrizitätsbinnenmarkt. Amtsblatt der Europäischen Gemeinschaften 44 (L 283): 33 ff.
- EU-Parlament und Rat der EU (2003a). Richtlinie 2003/30/EG des Europäischen Parlaments und des Rates zur Förderung der Verwendung von Biokraftstoffen oder anderen erneuerbaren Kraftstoffen im Verkehrssektor. Amtsblatt der Europäischen Gemeinschaften 46 (L 123): 42 ff.
- EU-Parlament und Rat der EU (2003b). Richtlinie 2003/96/EG zur Restrukturierung der gemeinschaftlichen Rahmenvorschriften zur Besteuerung von Energieerzeugnissen und elektrischen Strom. Amtsblatt der Europäischen Gemeinschaften 46 (L 283): 51ff.
- EU (2003). Akte betreffend den Beitritt der Tschechischen Republik, der Republik Estland, der Republik Zypern, der Republik Lettland, der Republik Litauen, der Republik Ungarn, der Republik Malta, der Republik Polen, der Republik Slowenien und der Slowakischen Republik zur Europäischen Union. Amtsblatt der Europäischen Union 46 (L236): 72.
- Europäischer Rat (2001). Nachhaltigkeitsstrategie der EU – Schlussfolgerungen des Vorsitzes. Europäischer Rat, Göteborg.
- EUROSTAT (2004). Datenbanken zur amtlichen Statistik der EU, Statistisches Amt der Europäischen Gemeinschaften. <http://epp.eurostat.ec.europa.eu>
- Ewert, F., M. D. A. Rounsevell, I. Reginster, M. J. Metzger und R. Leemans (2005). Future scenarios of European agricultural land use I. Estimating changes in crop productivity. *Agriculture Ecosystems & Environment* 107 (2-3): 101-116.
- Faaij, A., I. Steetskamp, A. van Wijk und W. Trunkenburg (1998). Extrapolation of the land potential for the production of Biomass for Energy in the Netherlands. *Biomass & Bioenergy* 14 (5/6): 439-456.
- FAO (2003). World agriculture: towards 2015/2030 – Summary report. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome.
- FAOSTAT (2004). Nutritional Data, Food and Agriculture Organization of the United Nations.
<http://faostat.fao.org/faostat/collections?version=ext&hasbulk=0&subset=nutrition>
- FAOSTAT (2005). Agricultural Data, Food and Agriculture Organization of the United Nations.
<http://apps.fao.org/faostat/collections?version=ext&hasbulk=0>

- Fischer, G. und L. Schrattenholzer (2001). Global bioenergy potentials through 2050. *Biomass & Bioenergy* 20 (3): 151-159.
- Flachowsky, G., P. Lebzien und U. Meyer (2002). Steigende Milchleistungen – Kann die Tierernährung Schritt halten? *Milchproduktion 2025*. F. Isermeyer. Braunschweig. 242: 43-52.
- Flaig, H. und H. Mohr, Hrsg. (1993). *Energie aus Biomasse – eine Chance für die Landwirtschaft*. Projektberichte der Akademie für Technikfolgenabschätzung in Baden-Württemberg. Berlin, Heidelberg, New York, Springer.
- Flaig, H., E. von Lüneburg, E. Ortmaier und C. Seeger (1995). *Energiegewinnung aus Biomasse – agrarische, technische und wirtschaftliche Aspekte*. Stuttgart, Akademie für Technikfolgenabschätzung in Baden-Württemberg.
- FNR, Hrsg. (2000). *Leitfaden Bioenergie*. Gülzow, Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V.
- FNR, Hrsg. (2004). *Trockenfermentation – Evaluierung des Forschungs- und Entwicklungsbedarfs*. Gülzower Fachgespräche. Gülzow, Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V.
- Fritsche, U. R., G. Dehoust, W. Jenseit, K. Hüneke, L. Rausch, D. Schüler, K. Wiegmann, A. Heinz, M. Hiebel, M. Ising, S. Kabasci, C. Unger, D. Thrän, N. Fröhlich, F. Scholwin, G. Reinhardt, S. Gärtner, A. Patyk, F. Baur, U. Bemmann, B. Groß, M. Heib, C. Ziegler, M. Flake, M. Schmehl und S. Simon (2004a). *Stoffstromanalyse zur nachhaltigen energetischen Nutzung von Biomasse*. Freiburg, Darmstadt, Berlin, Öko-Institut e.V. - Institut für angewandte Ökologie.
- Fritsche, U. R., K. Hüneke und K. Wiegmann (2004b). *Kriterien zur Bewertung des Pflanzenanbaus zur Gewinnung von Biokraftstoffen in Entwicklungsländern unter ökologischen, sozialen und wirtschaftlichen Gesichtspunkten*. Öko-Institut e. V., Darmstadt.
- Frohberg, K. (2001). *Ein Ausblick in die Zeit nach vollzogener Ost-Erweiterung*. Institut für Agrarentwicklung in Mittel- und Osteuropa, Halle.
- Frühwald, A. (1990). *Holzbe- und -verarbeitung. Energie aus nachwachsenden Rohstoffen und organischen Reststoffen*. Verein Deutscher Ingenieure. Düsseldorf/ Darmstadt, VDI - Verlag. 794: 9-23.
- Ganzert, C., C. Hebauer, A. Heißenhuber, M. Hofstetter und J. Kantelhardt (2004). *Reform der Gemeinsamen Agrarpolitik – Analysen und Konsequenzen aus Naturschutzsicht –*. BfN-Skripten. Bonn, Bundesamt für Naturschutz.
- Gatzka, E. M., K. Schulz und J. Ingwersen (2004). *Schweineproduktion 2003 in Deutschland*. Zentralverband der Deutschen Schweineproduktion e. V., Bonn.
- Haberl, H., F. Krausmann, K.-H. Erb, N. Schulz und H. Adensam (2001). *Rohstoff Landschaft – die Nutzung flächengebundener Energieträger und nachwachsender Rohstoffe als Determinante der Kulturlandschaftentwicklung – Themenheft – Biomasseeinsatz und Landnutzung Österreich 1995 -2020*. Österreichisches Ökologie-Institut, Institut für Interdisziplinäre Forschung und Fortbildung der Universitäten Klagenfurt, Wien, Innsbruck, Graz.
- Hartmann, H. (1995). *Energie aus Biomasse*. VDI-Gesellschaft Energietechnik (Hrsg.). Düsseldorf.
- Hartmann, H. und M. Kaltschmitt, Hrsg. (2002). *Biomasse als erneuerbarer Energieträger*. Schriftenreihe "Nachwachsende Rohstoffe". Münster.
- Hartmann, H. und A. Strehler (1995). *Die Stellung der Biomasse*. Schriftenreihe "Nachwachsende Rohstoffe". Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V. (Hrsg.). Münster.
- Hauff, V. (1987). *Unsere Gemeinsame Zukunft – Der Brundtland-Bericht der Weltkommission für Umwelt und Entwicklung*. Greven, Eggenkamp Verlag.
- Heinloth, K. (1995). *Potential der Biomasse als Energieträger in Deutschland und Europa*. Deutscher Kongreß Erneuerbare Energie '95 mit Fachkonferenzen Wind - Solar - Biomasse, Hannover, WINKRA-RECOM.
- Heinrich, I. (2004). *EU-Erweiterung: Sind die Beitrittsländer Bittsteller oder ernsthafte Rivalen?* Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft, Institut für Betriebswirtschaft, Braunschweig.

- Heinz, A., R. Stulpnagel, M. Kaltschmitt, K. Scheffer und D. Jezierska (1999). Feucht- und Trockengutlinien zur Energiegewinnung aus biogenen Festbrennstoffen – Vergleich anhand von Energie- und Emissionsbilanzen sowie anhand der Kosten. Institut für Energiewirtschaft und Rationelle Energieanwendung (Hrsg.), Universität Stuttgart.
- Heißenhuber, A. (2005). Landbewirtschaftung von morgen – Visionen für 2015. Landwirtschaft - Visionen 2015. Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e.V. Darmstadt.
- Heissenhuber, A. (2001). Landwirtschaftliche Rahmenbedingungen. Jahrbuch der Agrartechnik. Münster, Landwirtschaftsverlag.
- Heissenhuber, A. (2002). WTO: Wohin führt der Weg für die Bayerische Landwirtschaft? Agrar-Symposium, Bildungsstätte des Bayerischen Bauernverbandes, Herrsching.
- Heißenhuber, A. und S. Berenz (2005a). Biomasseanbau – lohnendes Geschäft für die Landwirtschaft oder unternehmerische Sackgasse? Energie aus Biomasse – Herausforderungen für Landwirtschaft und Naturschutz, Berlin.
- Heißenhuber, A., H. Hoffmann und G. Bauhuber (2005b). Die Zukunftsfähigkeit der deutschen Milchviehwirtschaft. Zeitschrift der AG Land- und Regionalentwicklung, Universität Kassel (58): 5-11.
- Heissenhuber, A. und C. Lippert (2000). "Multifunktionalität" der Landwirtschaft versus Wettbewerbsverzerrungen. Agrarwirtschaft 2000 (7): 249-252.
- Hoffmann, H. (2002). mündliche Mitteilung.
- Hoffmann, H., I. Gruber und M. Kapfer (2003). Auswirkungen der Milchleistungssteigerung in Bayern, Zwischenbericht, unveröffentlicht. Technische Universität München.
- Hoogwijk, M., A. Faaij, R. Broek van den, G. Berndes, D. Gielen und W. Trunkenburg (2003). Exploration of the ranges of the global potential of biomass for energy. Biomass and Bioenergy 25 (2): 119-133.
- Hosberg (2004). Die Bio-Legehennen, Hosberg AG. <http://www.hosberg.ch/wissen/huhn.htm>
- IEA (1987). Renewable Sources of Energy. Paris, International Energy Agency.
- IEA (2003). Renewables Information. IEA Statistics. Paris, International Energy Agency.
- IEA (2004a). Renewable Energy – Market & Policy Trends in IEA Countries. International Energy Agency, Organisation for Economic Co-operation and Development, Paris.
- IEA (2004b). World Energy Outlook 2004. Paris, International Energy Agency, Organisation for Economic Co-operation and Development.
- IEA (2005). Data Service: World Energy Statistics and Balances, International Energy Agency. <http://data.iea.org/ieastore/statslisting.asp>
- IFCN (2000). Dairy Report 2000. International Farm Comparison Network, Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft (FAL), Braunschweig.
- IFCN (2001). Dairy Report 2001. International Farm Comparison Network, Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft (FAL), Braunschweig.
- IFCN (2002a). Beef Report 2002. International Farm Comparison Network, Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft (FAL), Braunschweig.
- IFCN (2002b). Dairy Report 2002. International Farm Comparison Network, Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft (FAL), Braunschweig.
- IFCN (2003a). Beef Report 2003. International Farm Comparison Network, Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft (FAL), Braunschweig.
- IFCN (2003b). Dairy Report 2003. International Farm Comparison Network, Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft (FAL), Braunschweig.
- IFCN (2004). Dairy Report 2004. International Farm Comparison Network, Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft (FAL), Braunschweig.
- IFCN (verschiedene Jahrgänge-a). Beef Report. International Farm Comparison Network, Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft (FAL), Braunschweig.

- IFCN (verschiedene Jahrgänge-b). Dairy Report. International Farm Comparison Network, Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft (FAL), Braunschweig.
- IPCC (2001). IPCC Third Assessment Report – Climate Change 2001: Synthesis Report. I. P. o. C. Change (Hrsg.). Cambridge, Cambridge University Press.
- Isermeyer, F. (1999). Perspektiven für die Milchviehhaltung. Landwirtschaft 2010: Welche Wege führen in die Zukunft? Deutsche Landwirtschaftsgesellschaft. Frankfurt am Main: 51-73.
- Isermeyer, F. (2003a). mündliche Mitteilung. Braunschweig, Institut für Betriebswirtschaft Agrarstruktur und ländliche Räume, Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft.
- Isermeyer, F. (2003b). Umsetzung des Luxemburger Beschlusses zur EU-Agrarreform in Deutschland – eine erste Einschätzung. Arbeitsbericht 3/2003. Institut für Betriebswirtschaft Agrarstruktur und ländliche Räume (Hrsg.). Braunschweig, Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft.
- Johansson, T. B., K. McCormick, L. Neij und W. Turkenburg (2004). The Potentials of Renewable Energy. Internationale Konferenz für Erneuerbare Energien, Bonn, Secretariat of the International Conference for Renewable Energies.
- Kaltschmitt, M. und H. Hartmann, Hrsg. (2001). Energie aus Biomasse. Berlin, Heidelberg, Springer-Verlag.
- Kaltschmitt, M., D. Merten und N. Fröhlich (2003a). Energiegewinnung aus Biomasse. Wissenschaftlicher Beirat der Bundesregierung Globale Umweltveränderungen (Hrsg.). Berlin, Heidelberg.
- Kaltschmitt, M. und G. A. Reinhardt, Hrsg. (1997a). Nachwachsende Energieträger – Grundlagen, Verfahren, ökologische Bilanzierung. Braunschweig, Wiesbaden, Vieweg.
- Kaltschmitt, M. und D. Thrän (2003b). Biomasse für Strom, Wärme und Kraftstoffe. Was kann die Land- und Forstwirtschaft bereitstellen?
http://www.ufop.de/download/ufop_studie_biomasse_fuer_strom_waerme_kraftstoff.pdf
- Kaltschmitt, M. und A. Wiese, Hrsg. (1997b). Erneuerbare Energien. Berlin, Heidelberg, Springer.
- Kapfer, M., H. Hoffmann und A. Heissenhuber (2001). Regionale und einzelbetriebliche Konsequenzen der Neuorientierung der Agrarpolitik am Beispiel der Modulation. Berichte über die Landwirtschaft 79 (4): 501-528.
- Karekezi, S., K. Lata und S. T. Coelho (2004). Traditional Biomass Energy – Improving its Use and Moving to Modern Energy Use. Internationale Konferenz für Erneuerbare Energien, Bonn, Internationale Konferenz für Erneuerbare Energien.
- Kauter, D., I. Lewandowski und W. Claupein (2003). Quantity and quality of harvestable biomass from Populus short rotation coppice for solid fuel use – a review of the physiological basis and management influences. Biomass and Bioenergy 24 (6): 411-427.
- Keymer, U. (2004). Biogasausbeuten verschiedener Substrate. München, Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft, Institut für Ländliche Strukturentwicklung, Betriebswirtschaft und Agrarinformatik. 2005.
- Kirchgeßner, M. (2004). Tierernährung. Frankfurt am Main, DLG-Verlags GmbH.
- Kleemann, M. und M. Meliß (1993). Regenerative Energiequellen. Berlin, Heidelberg, Springer-Verlag.
- Kleinhanß, W. und S. Hüttel (2004). Auswirkungen der MTR-Beschlüsse im Milchbereich. Berichte über Landwirtschaft 82 (4): 529-550.
- Kleinhanß, W., D. Manegold, M. Bertelsmeier, E. Deeken, E. Giffhorn, P. Jägersberg, F. Offermann, B. Osterburg und P. Salamon (2002a). Phasing out Milk Quotas – Possible Impacts on German Agriculture. Institut für Betriebswirtschaft Agrarstruktur und ländliche Räume, Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft, Braunschweig.
- Kleinhanß, W., D. Manegold, F. Offermann und B. Osterburg (2002b). Szenarien zur Entkopplung produktionsgebundener Prämien – Partielle Umwidmung von Rinder- und Milchprämien in Grünlandprämien –. Institut für Betriebswirtschaft Agrarstruktur und ländliche Räume, Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft, Braunschweig.
- Kley, G. (1999). Tendenzen in Pflanzenzucht und Pflanzenbau. Landwirtschaft 2010: Welche Wege führen in die Zukunft? Deutsche Landwirtschaftsgesellschaft. Frankfurt am Main: 39-49.

- Knickel, K. (2002). Nachhaltige Nahrungsmittelproduktion: Szenarien und Prognosen für die Landwirtschaft bis 2030 – Handlungsbedarf und Langfriststrategien für die Umweltpolitik. Abschlussbericht zum UBA Vorhaben FKZ 200 98 120. Institut für Ländliche Strukturforchung, Frankfurt (Main).
- Kocsis, K. (2003). Long-term Perspective of the Use of Biomass for Energy in Hungary as a part of European Union Accession Procedure. Biomass and Agriculture: Sustainability, Markets and Policies, Wien, Organisation for Economic Co-operation and Development.
- Kohlheb, N. und J. Skutai (2004). Alternative Nutzung von Ackerpflanzen in Ungarn. Agrarische Rundschau 2004 (1): 38-41.
- Kohlmüller, M. (2005). Analyse Tschechien: Trendwende in diesem Jahr? ZMP Europamarkt Ost 2005 (4): 6.
- Köppel, J., W. Peters und C. Schultze (2004). Integration naturschutzfachlicher Ziele in Szenarien und Modelle zur energetischen Nutzung von Biomasse. Kurzgutachten. Stoffstromanalyse zur nachhaltigen energetischen Nutzung von Biomasse – Anhangband. U. R. Fritsche, G. Dehoust, W. Jenseit et al. Freiburg, Darmstadt, Berlin, Öko-Institut e.V. – Institut für angewandte Ökologie.
- Královec, J. (2001). Country Pasture/Forage Resource Profiles – Czech Republic, Food and Agriculture Organization of the United Nations, Crop and Grassland Service.
<http://www.fao.org/ag/AGP/AGPC/doc/Counprof/czech.htm>
- Kreins, P., H. Becker und C. Everink (2001). (Grün-)Landnutzung an Grenzstandorten in Deutschland unter besonderer Berücksichtigung der Milchproduktion (Entwurf). Forschungsgesellschaft für Agrarpolitik und Agrarsoziologie e.V., Bonn.
- Kreins, P., H. Gömann und W. Heinrichsmeyer (2002). Auswirkungen der Vorschläge der EU-Kommission im Rahmen der Agenda 2000 Halbzeitbewertung auf Produktion, Faktoreinsatz und Einkommen der deutschen Landwirtschaft (Modellannahmen auf Grundlage des Agrarsektormodells RAUMIS). Agra-Europe 02 (31).
- Kröhnert, S., N. van Olst und R. Klingholz (2004). Deutschland 2020 – Die demographische Zukunft der Nation. Berlin-Institut für Weltbevölkerung und globale Entwicklung, Berlin.
- Krutzinna, C., E. Boehncke und H.-J. Herrmann (1996). Die Milchviehhaltung im ökologischen Landbau. Berichte über die Landwirtschaft 74 (3): 461-480.
- KTBL (2000). KTBL-Taschenbuch Landwirtschaft. Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e.V. (Hrsg.). Darmstadt.
- Kuhnert, H., P. H. Feindt und V. Beusmann (2004). Ausweitung des ökologischen Landbaus in Deutschland – Voraussetzungen, Strategien, Implikationen, politische Optionen. Schriftenreihe des Bundesministeriums für Verbraucherschutz, Ernährung und Landwirtschaft. Universität Hamburg (Hrsg.). Hamburg, Landwirtschaftsverlag.
- Kvapilík, J. und M. Kohlmüller (2005). Analyse Tschechien: Immer mehr Mutterkühe. ZMP Europamarkt Ost 2005 (4): 5.
- Lacny, J. M. (2003). County-Report Poland. Stand und Perspektiven der energetischen Nutzung von Biomasse in Osteuropa. Institut für Energetik und Umwelt gGmbH, Deutsche Energie Agentur, Fachhochschule Zittau/Görlitz. Leipzig.
- LBA (1997). Materialsammlung Futterwirtschaft. Bayerische Landesanstalt für Betriebswirtschaft und Agrarstruktur. München.
- LBA (2000). Auswirkungen der EU-Osterweiterung auf den Agrarsektor. Studie im Auftrag des Bayerischen Staatsministeriums für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten. München, Bayerische Landesanstalt für Betriebswirtschaft und Agrarstruktur.
- LBA (2001). Rinderreport Bayern. Daten, Fakten und Analyse von Arbeitskreisergebnissen des Milchleistungsprüfjahres 2001. München, Bayerische Landesanstalt für Betriebswirtschaft und Agrarstruktur.

- Leible, L., A. Arlt, B. Fürniß, S. Kälber, G. Kappler, S. Lange, E. Nieke, C. Rösch und D. Wintzer (2003). Energie aus biogenen Rest- und Abfallstoffen. Institut für Technikfolgeabschätzung und Systemanalyse, Forschungszentrum Karlsruhe.
- Lewandowski, I. (2001). Energiepflanzenproduktion. Energie aus Biomasse – Grundlagen, Techniken und Verfahren. M. Kaltschmitt, H. Hartmann. Leipzig, Freising, Berlin, Heidelberg, Springer-Verlag: 57-91.
- LfL (2005). Agrarmärkte 2004. Schriftenreihe. Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft (Hrsg.). Freising.
- LKV Bayern (2003). Fleischleistungsprüfung in Bayern 2003. Landeskuratorium der Erzeugerringe für tierische Veredelung in Bayern e.V., München.
- Mäder, P., A. Fließbach, D. Dubois, L. Gunst, P. Fried und U. Niggli (2002). Soil Fertility and Biodiversity in Organic Farming. *Science* 296: 1694-1697.
- Makomaska-Juchiewicz, M., S. Tworek und J. Perzanowska (2003). Presentation "Designation of the NATURA 2000 network in Poland". Integrating NATURA 2000, Rural Development and Agri-environmental Programmes in Central Europe, Goniadz, Poland.
- Marosvölgyi, B. und A. Vityi (2003). County-Report Hungary. Stand und Perspektiven der energetischen Nutzung von Biomasse in Osteuropa. Institut für Energetik und Umwelt gGmbH, Deutsche Energie Agentur, Fachhochschule Zittau/Görlitz. Leipzig.
- Menzi, H., H. Shariatmadari, D. Meierhans und H. Wiedmer (1997). Nähr- und Schadstoffbelastung von Geflügelausläufen. *Agrarforschung* 4 (9): 361-364.
- Meyer-Aurich, A. (1999). Entwicklung von umwelt- und naturschutzgerechten Verfahren der landwirtschaftlichen Landnutzung für das Biosphärenreservat Schorfheide-Chorin. *Agrarökologie*. W. Nentwig, H.-M. Poehling (Hrsg.). Bern, Hannover, Verlag Agrarökologie.
- Möller, K. (2003a). mündliche Mitteilung. Gießen.
- Möller, K. (2003b). Systemwirkungen einer Biogaswirtschaft im ökologischen Landbau. Pflanzenbauliche Aspekte, Auswirkungen auf den N-Haushalt und auf die Spurengasemissionen. <http://www.uni-giessen.de/orglandbau/biogas-uebersicht>
- NABU (1999). Grünlandschutz und Agrarpolitik. Naturschutzbund Deutschland e. V. Bonn.
- Nikolaou, A., M. Remrova und I. Jeliakov (2003). Biomass availability in Europe. Bioenergy's role in the EU energy market, European Commission, Directorate-General for Energy and Transport.
- Nitsch, J., W. Krewitt, M. Nast, P. Viebahn, S. Gärtner, M. Pehnt, G. Reinhardt, R. Schmidt, A. Uihlein, K. Scheuerlen, C. Barthel, M. Fishedick und F. Merten (2004). Ökologisch optimierter Ausbau der Nutzung erneuerbarer Energien in Deutschland. *Umweltpolitik*. Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt, Institut für Energie- und Umweltforschung, U. u. E. Wuppertal Institut für Klima (Hrsg.). Stuttgart, Heidelberg, Wuppertal, Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit.
- OECD (1984). Energie aus Biomasse. Schriftenreihe des Bundesministers für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten, Reihe C: Agrarpolitische Berichte der Organisation für Wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung (OECD). Organisation for Economic Co-operation and Development (Hrsg.). Münster-Hiltrup, Landwirtschaftsverlag GmbH.
- OECD (1999). The agri-environmental situation and policies in the Czech Republic, Hungary and Poland. Organisation for Economic Co-operation and Development, Paris.
- OECD/FAO (2004). Agricultural Outlook 2005-2014, Highlights. Organisation for Economic Co-Operation and Development, Food and Agricultural Organisation of the United Nations, Paris, Rom.
- Offermann, F. (2003). Quantitative Analyse der sektoralen Auswirkungen einer Ausdehnung des ökologischen Landbaus in der EU. *Berliner Schriften zur Agrar- und Umweltökonomik*. D. Kirschke, M. Odening, H. von Witzke (Hrsg.). Berlin, Shaker.
- Offermann, F., M. Bertelsmeier und W. Kleinhanß (2003). Auswirkungen der Mid-term Review Beschlüsse unter besonderer Berücksichtigung einer Teilkopplung der Rinderprämien. Institut für Betriebswirtschaft Agrarstruktur und ländliche Räume (Hrsg.). Braunschweig, Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft.

- Öko-Institut (2003). Protokoll zum Agrarexpertenworkshop im Rahmen der "Stoffstromanalyse zur nachhaltigen energetischen Nutzung von Biomasse" (unveröffentlicht). Öko-Institut, e.V., Darmstadt.
- Öko-Institut (2005). GEMIS, Gesamt-Emissions-Modell Integrierter Systeme. Umwelt- und Kostenanalyse von Energie-, Transport- und Stoffsystemen; Version 4.2, Auftraggeber: Hessisches Ministerium für Umwelt, Landwirtschaft und Forsten. <http://www.oeko.de/service/gemis/de/index.htm>
- Ortmaier, E. (1991). Biomasse-Erzeugung und Verwertung – Wie rechnet sich das? Biomasseerzeugung zur direkten energetischen Nutzung – agrarpolitische, ökologische und ökonomische Möglichkeiten und Grenzen –. Freising, Deutsche-Landwirtschafts-Gesellschaft e.V.: 123-146.
- Petrick, M., G. Spychalski, M. Switlyk und E. Tyran (2004). Economic Situation and Development Perspectives of Farms in Poland – An Analysis Based on Survey Data from Selected Polish Voivodships and a Comparison with German Farms. *Agrarwirtschaft* 51 (4): 203-214.
- Pinstrup-Anderson, P., R. Pandya-Lorch und M. W. Rosegrant (1999). World Food Prospects: Critical Issues for the Early Twenty-first Century. International Food Policy Research Institute, Washington, D.C.
- Pletka, R. (2003). Strategic Renewable Energy Assessment – Renewable Energy Country Profiles, Arges Enerji Sistemleri San. <http://projects.bv.com/ebrd/>
- Polnisches Landwirtschaftsministerium (2004). Land- und Ernährungswirtschaft in Polen in Zahlen, Ministerium für Landwirtschaft und ländliche Entwicklung Polen. http://www.wirtschaft-polen.de/de/pdf/landwirtschaft_pl_2004.pdf
- Polnisches Umweltministerium (1997). First national report to the conference of the parties to the convention on biological diversity. Ministry of Environment Protection, Natural Resources and Forestry of the Republic of Poland, Warschau.
- Pontenagel, I., Hrsg. (1995). Das Potential erneuerbarer Energien in der europäischen Union – Ansätze zur Mobilisierung erneuerbarer Energien bis zum Jahr 2020. Berlin, Heidelberg, New York, Springer Verlag.
- Popp, J. (2004). Getreidemarkt in Ungarn. ZMP-Osteuropaforum: EU-Osterweiterung – Wie reagieren die Agrarmärkte?, Berlin, Zentrale Markt- und Preisberichtsstelle für Erzeugnisse der Land-, Forst- und Ernährungswirtschaft.
- Rat der EU (1992). Richtlinie 92/43/EWG des Rates zur Erhaltung der natürlichen Lebensräume sowie der wildlebenden Tiere und Pflanzen. *Amtsblatt der Europäischen Gemeinschaften* (L 206): 7ff.
- Rat der EU (1999). Verordnung (EG) Nr. 1251/1999 des Rates vom 17. Mai 1999 zur Einführung einer Stützungsregelung für Erzeuger bestimmter landwirtschaftlicher Kulturpflanzen. *Amtsblatt der Europäischen Union* 42 (L 160): 1-15.
- Rat der EU (2003). Verordnung (EG) Nr. 1782/2003 des Rates vom 29. September 2003 mit gemeinsamen Regeln für Direktzahlungen im Rahmen der Gemeinsamen Agrarpolitik und mit bestimmten Stützungsregelungen für Inhaber landwirtschaftlicher Betriebe und zur Änderung der Verordnungen (EWG) Nr. 2019/93, (EG) Nr. 1452/2001, (EG) Nr. 1453/2001, (EG) Nr. 1454/2001, (EG) Nr. 1868/94, (EG) Nr. 1251/1999, (EG) Nr. 1254/1999, (EG) Nr. 1673/2000, (EWG) Nr. 2358/71 und (EG) Nr. 2529/2001. *Amtsblatt der Europäischen Union* 46 (L270): 1-70.
- Ratinger, T. und J. Prazan (1998). Country report on the present environmental situation in agriculture – Czech Republic, Food and Agriculture Organization of the United Nations, Sub-regional Office for Central and Eastern Europe. <http://www.fao.org/Regional/SEUR/ceesa/Czech.htm>
- Reiche, D. (2002). Renewable energies in the EU Member States in comparison. Handbook of Renewable Energies in the European Union. D. Reiche. Frankfurt am Main, Lang: 13-24.
- renewables (2004). Politische Erklärung. Internationale Konferenz für Erneuerbare Energien – renewables 2004, Bonn.
- Rogulska, M., A. Oniszk-Poplawska, M. Pisarek und G. Wisniewski (2003). State of the Art of Bioenergy in Poland – Barriers and Opportunities. Biomass and Agriculture: Sustainability, Markets and Policies, Wien, Organisation for Economic Co-operation and Development.

- Roos, A. und C. Rakos (2000). The limits of modelling. Experiences with bioenergy in practice – could models have predicted this outcome? *Biomass & Bioenergy* 18 (4): 331 - 340.
- Rosegrant, M. W., M. S. Paisner, S. Meijer und J. Witcover (2001). Global food projections to 2020 – Emerging trends and alternative futures, International Food Policy Research Institute.
- Roubanis, N. (1998). Energy from Biomass: the EU experience. *Biomass Energy: Data, Analysis and Trends*. International Energy Agency. Paris, Organisation for Economic Co-operation and Development: 141-148.
- Safarik, M., V. Neužil und P. Kopác (2003). Country-Report Czech Republic. Stand und Perspektiven der energetischen Nutzung von Biomasse in Osteuropa. Institut für Energetik und Umwelt gGmbH, Deutsche Energie Agentur, Fachhochschule Zittau/Görlitz (Hrsg.). Leipzig.
- Scheffer, K. (1991). Umweltschonende Biomasseerzeugung durch ein neues Ackerbausystem. Biomasseerzeugung zur direkten energetischen Nutzung – agrarpolitische, ökologische und ökonomische Möglichkeiten und Grenzen -. Bonn, Deutsche Landwirtschaftsgesellschaft e.V.: 84-89.
- Scheuermann, A., M. Kaltschmitt und D. Falkenberg (2003). Biomassepotenziale und ihre Nutzung – Deutschland und EU –. Stand und Perspektiven der energetischen Nutzung von Biomasse in Osteuropa, Congress Center Leipzig.
- Schiefer, J. (1984). Möglichkeiten der Aushagerung von nährstoffreichen Grünlandflächen. Veröffentlichungen für Naturschutz und Landschaftspflege in Baden-Württemberg 57/58: 33-62.
- Schmid, W., J. Troxler und B. Jeangros (1989). Erträge und Ertragspotenzial von Magerwiesen. Erhaltung von artenreichen Wiesen. P. Thomet, W. Schmid, R. Daccord. Liebefeld-Bern.
- Schneider, S. und M. Kaltschmitt (2002). Potenziale und Nutzung. Biomasse als erneuerbarer Energieträger. H. Hartmann, M. Kaltschmitt. Gülzow, Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V.
- Schön, H., H. Auernhammer, R. Bauer, J. Boxberger, M. Demmel, M. Estler, A. Gronauer, B. Haidn, J. Meyer, P. Heinrich, A. Strehler und B. Widmann (1998). Landtechnik, Bauwesen. Die Landwirtschaft. München, BLV-Verlag.
- Schulz, H., A. Strehler, H. Hartmann, D. Bludau, B. Widmann, P. Turowsky, A. Krieg, P. Pontius, L. Maier, H. Mitterleitner, R. Manfred, M. Beck, V. Ceaus, M. Ohnsmann, J. Müller, W. Schenk und W. Krauß (1993). Klimaschutz – "Einsatz erneuerbarer Energien in Bayern – Stand der Technik und Potentialabschätzung". Bayerisches Staatsministerium für Landesentwicklung und Umweltfragen, München.
- Schulz, W., M. Bartels, C. Gatzen, D. Lindenberger, F. Müsgens, M. Peek, A. Seeliger, D. Steuber, R. Wissen, P. Hofer, A. Kirchner, J. Scheelhaase und M. Schlesinger (2005). *EWI/Prognos-Studie, Die Entwicklung der Energiemärkte bis zum Jahr 2030*. Berlin, Bundesministerium für Wirtschaft und Arbeit.
- Staiß, F. (2001). *Jahrbuch Erneuerbare Energien 2001*. Stiftung Energieforschung Baden-Württemberg (Hrsg.). Radebeul.
- Staiß, F. (2003). *Jahrbuch Erneuerbare Energien 2003*. Stiftung Energieforschung Baden-Württemberg (Hrsg.). Radebeul.
- StMLF (2002). *Bayerischer Agrarbericht 2002*. Bayerisches Staatsministerium für Landwirtschaft und Forsten (Hrsg.). München.
- StMLF (2004). *Bayerischer Agrarbericht 2004*. Bayerisches Staatsministerium für Landwirtschaft und Forsten (Hrsg.). München.
- StMLF (verschiedene Jahrgänge). *Bayerischer Agrarbericht*. Bayerisches Staatsministerium für Landwirtschaft und Forsten (Hrsg.). München.
- StMWIVT (2001). *Energiebilanz Bayern – Daten, Fakten, Tabellen*. Bayerisches Staatsministerium für Wirtschaft, Infrastruktur, Verkehr und Technologie, München.
- Stolze, M., A. Piorr, A. Häring und S. Dabbert (2000). The Environmental Impacts of Organic Farming in Europe. *Organic Farming in Europe: Economics and Policy*. S. Dabbert, N. Lampkin, J. Michelsen, H. Niebert, R. Zanolli (Hrsg.). Stuttgart-Hohenheim, University of Hohenheim.

- Strehler, A. (1991). Energie aus Biomasse – Potential, Aufbereitung und Wege der energetischen Umsetzung. Bayerische Landesanstalt für Landtechnik Weihenstephan, Freising.
- StUGV (2005). Daten und Fakten zum Flächenverbrauch, Bayerisches Staatsministerium für Umwelt, Gesundheit und Verbraucherschutz. <http://www.stmugv.bayern.de/de/boden/flaech/flv7.htm>
- Sundrum, A. (2005). Perspektiven der Nutztierhaltung in Deutschland aus Sicht der Produktionsebene. Berichte über Landwirtschaft 83 (1): 14-33.
- Thomet, P., W. Schmid und R. Daccord, Hrsg. (1989). Erhaltung von artenreichen Wiesen. Berichte des Nationalen Forschungsprogrammes "Nutzung des Bodens in der Schweiz". Liebefeld-Bern.
- Thrän, D., A. Scheuermann, D. Falkenberg, S. Schneider, J. Witt, W. Bohnenschäfer, J. Zeddies, A. Henze, C. Thoroë, M. Dieter, J. Schweinle, W. Jenseit und U. R. Fritsche (2004). Nachhaltige Biomassennutzungsstrategien im europäischen Kontext, 2. Zwischenbericht. Institut für Energetik und Umwelt gGmbH, Universität Hohenheim, Institut für Landwirtschaftliche Betriebslehre, Bundesforschungsanstalt für Forst- und Holzwirtschaft, Öko-Institut e. V., Leipzig, Stuttgart, Hamburg, Darmstadt.
- Thrän, D., M. Weber, A. Scheuermann, N. Fröhlich, J. Zeddies, A. Henze, C. Thoroë, J. Schweinle, U. R. Fritsche, W. Jenseit, L. Rausch und K. Schmidt (2006). Nachhaltige Biomassennutzungsstrategien im europäischen Kontext, Analyse im Spannungsfeld nationaler Vorgaben und der Konkurrenz zwischen festen, flüssigen und gasförmigen Bioenergieträgern. Institut für Energetik und Umwelt gGmbH (IE), Universität Hohenheim, Institut für Ökonomie der Bundesforschungsanstalt für Forst- und Holzwirtschaft (BFH), Öko-Institut e. V. (ÖI), Leipzig.
- UBA (2002). Nachhaltige Entwicklung in Deutschland – Die Zukunft dauerhaft umweltgerecht gestalten. Berlin, Erich Schmidt Verlag.
- UBA (2003). Indikator Boden, Umweltbundesamt. <http://www.umweltbundesamt.de/dux/bo-inf.htm>
- UBA (2004). Flächenverbrauch, ein Umweltproblem mit wirtschaftlichen Folgen. Umweltbundesamt für Mensch und Umwelt (Hintergrundpapier): 18.
- UFOP (1994). UFOP-Jahresbericht 1994. Union zur Förderung von Oel- und Proteinpflanzen e.V., Bonn.
- UFOP (2004). UFOP-Bericht 2003/2004. Union zur Förderung von Oel- und Proteinpflanzen e.V., Bonn.
- UN (1998). Report of the conference of the Parties on its Third Session, held at Kyoto from 1 to 11 December 1997. United Nations, Kyoto.
- UN (2002a). The Johannesburg Declaration on Sustainable Development. World Summit on Sustainable Development, Johannesburg, South Africa.
- UN (2002b). Report of the World Summit on Sustainable Development. United Nations, Johannesburg, South Africa.
- UN (2002c). World Summit on Sustainable Development, United Nations. <http://www.johannesburgsummit.org/>
- UN (2004). World Population Prospects: The 2004 Revision Population Database, United Nations, Department of Economic and Social Affairs, Population Division. <http://esa.un.org/unpp/>
- UNCCD (2000). Land Degradation in Central and Europe: Proceedings of the Workshop Land Degradation/Desertification and Eastern Europe in the context of the UNCCD. Land Degradation in Central and Eastern Europe, Brussels, Belgium.
- UNEP (1991). Green Energy – biomass fuels and the environment. United Nations Environment Programme (Hrsg.). New York; Geneva, United Nations Publications.
- UNEP (1992). Rio Declaration on Environment and Development, United Nation Environment Programme. <http://www.unep.org/Documents/Default.asp?DocumentID=78&ArticleID=1163>
- Voivontas, D., D. Assimacopoulos und E. G. Kouikios (2001). Assessment of biomass potential for power production: a GIS based method. Biomass & Bioenergy 20 (2): 101-112.

- WDPA (2005). World Database on Protected Areas, United Nations Environment Programme World Conservation Monitoring Centre. <http://sea.unep-wcmc.org/wdbpa/>
- Wilfert, R. und A. Schattauer (2002). Biogasgewinnung aus Gülle, organischen Abfällen und aus angebaute Biomasse – Eine technische, ökologische und ökonomische Analyse – , Zwischenbericht, unveröffentlicht. DBU-Projekt 15071. Leipzig, Braunschweig, Institut für Energetik und Umwelt gGmbH, Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft.
- Windhorst, H.-W. (1999). Ein neues Leitbild für die Fleischproduktion. Landwirtschaft 2010: Welche Wege führen in die Zukunft? Deutsche Landwirtschaftsgesellschaft. Frankfurt am Main: 75-89.
- Windhorst, H.-W. (2001). Kann sich die deutsche Geflügelwirtschaft im internationalen Wettbewerb behaupten?, Hochschule Vechta.
- Wintzer, D., B. Fürniß, S. Klein-Vielhauer, L. Leible, C. Leichsenring, E. Nieke und H. Tangen (1994). Modellversuch "Wärme und Strom aus nachwachsenden Rohstoffen" – Machbarkeitsstudien –. Schriftenreihe "Nachwachsende Rohstoffe" - Band I, Abteilung für Angewandte Systemanalyse, Kernforschungszentrum Karlsruhe.
- Wintzer, D., B. Fürniß, S. Klein-Vielhauer, L. Leible, E. Nieke, C. Rösch und H. Tangen (1993). Technikfolgenabschätzung zum Thema Nachwachsende Rohstoffe. Schriftenreihe des Bundesministeriums für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten. Bundesministerium für Ernährung Landwirtschaft und Forsten (Hrsg.). Münster, Landwirtschaftsverlag.
- Wolf, J., P. S. Bindraban, J. C. Luijen und L. M. Vleeshouwers (2002). Exploratory study on the land area required for global food supply and the potential global production of bioenergy. Agricultural Systems 76 (3): 841-861.
- WWF (2005). Sugar and the Environment, WWF Global Freshwater Programme. http://assets.panda.org/downloads/sugarandtheenvironment_fidq.pdf
- Yamamoto, H., J. Fujino und K. Yamaji (2001). Evaluation of bioenergy potential with a multi-regional global-land-use-and-energy model. Biomass & Bioenergy 21 (3): 185-203.
- Yamamoto, H., K. Yamaji und J. Fujino (1998). Dynamic analysis of biomass resources with a global land use and energy model. International Journal of Global Energy Issues 11 (1-4): 91-103.
- Zinke, O. (2005). Moderne Landwirtschaft in großen Betrieben. ZMP Europamarkt Ost 2005 (4): 2.
- ZMP (2003a). Agrarmärkte in Zahlen Mittel- und Osteuropa 2003, Tier- und Pflanzenproduktion. R. Goessler (Hrsg.). Bonn, Zentrale Markt- und Preisberichtsstelle für Erzeugnisse der Land-, Forst- und Ernährungswirtschaft.
- ZMP (2003b). Die polnische Landwirtschaft im Jahr 2020 – vom Importeur zum Exporteur. ZMP Osteuropa, Agrarmärkte - aktuell 2003 (3): IV-VI.
- ZMP (2003c). Polen: Durchwachsene Ergebnisse bei der pflanzlichen Produktion. ZMP Osteuropa, Agrarmärkte - aktuell 2003 (2): 9.
- ZMP (2003d). Wachsendes Interesse an Polens Fleischindustrie. ZMP Osteuropa, Agrarmärkte - aktuell 2003 (7): 1.
- ZMP (2005a). Agrarmärkte in Zahlen, Europäische Union 2005 mit 10 neuen Mitgliedsstaaten. R. Goessler (Hrsg.). Bonn, Zentrale Markt- und Preisberichtsstelle für Erzeugnisse der Land-, Forst- und Ernährungswirtschaft.
- ZMP (2005b). Tschechien: Reichliche Ernte drückt Getreidepreise. ZMP Marktdaten Ost 2005 (5): 6.
- ZMP (verschiedene Jahrgänge-a). ZMP-Marktbilanz Eier und Geflügel. Bonn, Zentrale Markt- und Preisberichtsstelle für Erzeugnisse der Land-, Forst- und Ernährungswirtschaft.
- ZMP (verschiedene Jahrgänge-b). ZMP-Marktbilanz Vieh und Fleisch. Marktbilanz. Bonn, Zentrale Markt- und Preisberichtsstelle für Erzeugnisse der Land-, Forst- und Ernährungswirtschaft.

Anhang

Abkürzungsverzeichnis

a:	Jahr
BIP:	Bruttoinlandsprodukt
BMU:	Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit
BRD:	Bundesrepublik Deutschland
BSE:	Bovine Spongiforme Enzephalopathie
BY:	Bayern
CO ₂ :	Kohlenstoffdioxid
CZ:	Tschechische Republik
d:	Tag
DDR:	Deutsche Demokratische Republik
DE:	Deutschland
DLR:	Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt
EU:	Europäische Union
EU-9:	Europäische Union der 9 Mitgliedsstaaten
EU-15:	Europäische Union der 15 Mitgliedsstaaten
EU-25:	Europäische Union der 25 Mitgliedsstaaten
FAL:	Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft
FAO:	Food and Agricultural Organisation
GAP:	Gemeinsame Agrarpolitik
GEMIS:	Gesamt-Emissions-Modell Integrierter Systeme
GIS:	Geografisches Informationssystem
GV:	Großvieheinheiten
GW:	Gigawatt
ha:	Hektar
HEKTOR:	<u>Hektar-Kalkulator</u>
HNV:	high nature value
H ₂ O:	Wasser
HU:	Ungarn
IEA:	International Energy Agency
IFCN	International Farm Comparison Network
IFPRI:	International Food Policy Research Institute
IE:	Institut für Energetik und Umwelt
IUCN:	International Union for the Conservation of Nature and Natural Resources
kg:	Kilogramm
KTBL:	Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e.V.
LF:	landwirtschaftlich genutzte Fläche
LKV:	Landeskuratorium der Erzeugerringe für tierische Veredelung in Bayern e.V.
LW:	Landwirtschaft
m:	Meter
m ³ :	Kubikmeter
MBTU:	Million British Thermal Units
Mio.:	Millionen
MJ:	Megajoule = 10 ⁶ Joule

NawaRo:	<u>Nach</u> wachsende <u>Roh</u> stoffe
NH:	Nachhaltigkeitsszenario
NHSV:	Szenarierete zu reduzierten Exporten
NMS:	new member states
OECD:	Organisation for Economic Co-operation and Development
PEV:	Primärenergieverbrauch
PJ :	Petajoule = 10^{15} Joule
PL:	Polen
REF:	Referenzszenario
SV:	Selbstversorgungsquote
t:	Tonnen
TM:	Trockenmasse
TS:	Trockensubstanz
oTS:	organische Trockensubstanz
USA:	Vereinigte Staaten von Amerika
vgl.:	vergleiche
WDPA:	World Database on Protected Areas
WTO:	World Trade Organisation
ZIP:	Zukunfts-Investitions-Programm
ZMP:	Zentrale Markt- und Preisberichtsstelle für Erzeugnisse der Land-, Forst- und Ernährungswirtschaft

Datenblätter zur Definition der Szenarien

Anhangstabelle 1: Prognose der Bevölkerungsentwicklung in den ausgewählten Ländern

Bevölkerung [Mio. Einwohner]	2000	2005	2010	2015	2020	2030
Deutschland	82,2	82,2	82,1	82,2	80,8	77,9
Bayern	12,1	12,3	12,4	12,6	12,8	12,9
Polen	38,7	38,5	38,4	38,1	37,7	36,3
Tschechien	10,3	10,2	10,2	10,1	10,0	9,6
Ungarn	10,2	10,1	10,0	9,8	9,6	9,2

(Quelle: Enquete 2002; Kröhnert et al. 2004; UN 2004)

Anhangstabelle 2: Definition des Referenzszenarios für Deutschland

	2000	2005	2010	2015	2020	2030
Anteil Pflanzen aus						
ökologischer Landwirtschaft	3,2%	4,8%	6,3%	7,8%	9,3%	12,4%
konventioneller Landwirtschaft	96,8%	95,2%	93,7%	92,2%	90,7%	87,6%
Selbstversorgungsgrad Getreide	129%	125%	125%	125%	125%	125%
Selbstversorgungsgrad Kartoffeln	104%	Nicht wählbar				
Selbstversorgungsgrad Zucker	160%	150%	145%	145%	145%	145%
Selbstversorgungsgrad Leguminosen	48%	45%	45%	45%	45%	45%
Anteil Schweinefleisch aus						
konventioneller Intensivmast	58%	60%	62%	65%	67%	70%
konventioneller Standardmast	42%	39%	37%	33%	30%	25%
ökologischer Tierhaltung	1%	1%	2%	2%	3%	5%
Selbstversorgungsgrad Schweinefleisch	86%	88%	90%	92%	94%	96%
Anteil Milch aus						
konv. Stallhaltung, Maissilagefutter	27%	30%	33%	35%	37%	39%
konv. Stallhaltung, Grassilagefutter	40%	38%	36%	35%	33%	28%
konv. Weidehaltung	30%	27%	25%	22%	20%	20%
ökologischer Haltung	3%	5%	6%	8%	10%	13%
Anteil Rindfleisch aus						
konv. Bullenmast, Maissilagefutter	59%	58%	54%	49%	49%	46%
konv. Bullenmast, Grassilagefutter	22%	20%	20%	21%	23%	21%
ökologischer Rindermast	1%	2%	3%	3%	4%	4%
extensiver Rindermast	17%	20%	23%	26%	25%	29%
Anteil Eier aus						
Käfighaltung	86%	80%	70%	0%	0%	0%
Bodenhaltung	6%	13%	21%	80%	75%	70%
Freilandhaltung und ökol. Haltung	8%	7%	9%	20%	25%	30%
Selbstversorgungsgrad Hühnereier	77%	70%	65%	40%	40%	40%
Selbstversorgungsgrad Geflügelfleisch	71%	70%	70%	70%	70%	70%

(Quelle: Für 2000 in Anlehnung an BMVEL 2001; Döhler et al. 2002, ab 2005 eigene Annahmen)

Anhangstabelle 3: Definition des Referenzszenarios für Bayern

	2000	2005	2010	2015	2020	2030
Anteil Pflanzen aus						
ökologischer Landwirtschaft	3,3%	3,6%	4,6%	5,6%	6,5%	8,5%
konventioneller Landwirtschaft	96,7%	96,4%	95,4%	94,5%	93,5%	91,5%
Selbstversorgungsgrad Getreide	116%	117%	115%	115%	115%	115%
Selbstversorgungsgrad Kartoffeln	100%	Nicht wählbar				
Selbstversorgungsgrad Zucker	199%	185%	180%	175%	175%	175%
Selbstversorgungsgrad Leguminosen	40%	40%	40%	40%	40%	40%
Anteil Schweinefleisch aus						
konventioneller Intensivmast	5%	6%	8%	10%	12%	20%
konventioneller Standardmast	94%	93%	91%	88%	85%	75%
ökologischer Tierhaltung	1%	1%	2%	2%	3%	5%
Selbstversorgungsgrad Schweinefleisch	72%	75%	75%	75%	75%	75%
Anteil Milch aus						
konv. Stallhaltung, Maissilagefutter	57%	58%	61%	62%	65%	70%
konv. Stallhaltung, Grassilagefutter	20%	21%	22%	23%	22%	21%
konv. Weidehaltung	20%	19%	14%	11%	8%	3%
ökologischer Haltung	3%	3%	3%	4%	5%	6%
Anteil Rindfleisch aus						
konv. Bullenmast, Maissilagefutter	69%	66%	63%	57%	57%	54%
konv. Bullenmast, Grassilagefutter	22%	23%	24%	25%	26%	24%
ökologischer Rindermast	1%	3%	3%	4%	4%	5%
extensiver Rindermast	8%	8%	10%	14%	13%	16%
Anteil Eier aus						
Käfighaltung	89%	73%	65%	0%	0%	0%
Bodenhaltung	6%	22%	28%	80%	75%	70%
Freilandhaltung und ökol. Haltung	5%	5%	7%	20%	25%	30%
Selbstversorgungsgrad Hühnereier	50%	50%	45%	30%	28%	25%
Selbstversorgungsgrad Geflügelfleisch	40%	40%	40%	40%	40%	40%

(Quelle: Für 2000 in Anlehnung an BMVEL 2001; Döhler et al. 2002, ab 2005 eigene Annahmen)

Anhangstabelle 4: Definition des Referenzszenarios für Polen

	2000	2005	2010	2015	2020	2030
Anteil Pflanzen aus						
ökologischer Landwirtschaft	0,1%	0,5%	0,9%	1,3%	1,6%	2,4%
konventioneller Landwirtschaft	99,9%	99,5%	99,1%	98,7%	98,4%	97,6%
Selbstversorgungsgrad Getreide	98%	105%	110%	115%	120%	130%
Selbstversorgungsgrad Kartoffeln	114%	Nicht wählbar				
Selbstversorgungsgrad Zucker	111%	120%	105%	100%	100%	100%
Selbstversorgungsgrad Leguminosen	70%	70%	70%	70%	70%	70%
Anteil Schweinefleisch aus						
konventioneller Intensivmast	5%	7%	9%	11%	13%	20%
konventioneller Standardmast	95%	93%	90%	88%	85%	78%
ökologischer Tierhaltung	0%	1%	1%	1%	2%	2%
Selbstversorgungsgrad Schweinefleisch	105%	108%	107%	106%	105%	100%
Anteil Milch aus						
konv. Stallhaltung, Maissilagefutter	30%	32%	34%	36%	38%	40%
konv. Stallhaltung, Grassilagefutter	50%	48%	46%	44%	42%	41%
konv. Weidehaltung	20%	20%	19%	19%	18%	17%
ökologischer Haltung	0%	1%	1%	1%	2%	2%
Anteil Rindfleisch aus						
konv. Bullenmast, Maissilagefutter	28%	27%	29%	29%	34%	42%
konv. Bullenmast, Grassilagefutter	65%	55%	53%	43%	41%	32%
ökologischer Rindermast	0%	0%	1%	1%	1%	2%
extensiver Rindermast	7%	17%	17%	28%	24%	24%
Anteil Eier aus						
Käfighaltung	86%	85%	81%	78%	74%	67%
Bodenhaltung	6%	8%	10%	12%	14%	18%
Freilandhaltung und ökol. Haltung	8%	7%	9%	10%	12%	15%
Selbstversorgungsgrad Hühnereier	105%	108%	110%	115%	115%	118%
Selbstversorgungsgrad Geflügelfleisch	105%	115%	120%	120%	120%	120%

(Quelle: Für 2000 in Anlehnung an EUROSTAT 2004; Polnisches Landwirtschaftsministerium 2004; IFCN verschiedene Jahrgänge-b; a, ab 2005 eigene Annahmen)

Anhangstabelle 5: Definition des Referenzszenarios für Tschechien

	2000	2005	2010	2015	2020	2030
Anteil Pflanzen aus						
ökologischer Landwirtschaft	4,0%	6,8%	10,0%	13,2%	16,4%	22,7%
konventioneller Landwirtschaft	96,0%	93,2%	90,0%	86,8%	83,6%	77,3%
Selbstversorgungsgrad Getreide	110%	117%	117%	120%	122%	130%
Selbstversorgungsgrad Kartoffeln	96%	Nicht wählbar				
Selbstversorgungsgrad Zucker	105%	110%	95%	95%	95%	95%
Selbstversorgungsgrad Leguminosen	130%	130%	130%	130%	130%	130%
Anteil Schweinefleisch aus						
konventioneller Intensivmast	58%	59%	60%	62%	64%	66%
konventioneller Standardmast	41%	40%	38%	36%	33%	30%
ökologischer Tierhaltung	1%	2%	2%	3%	3%	4%
Selbstversorgungsgrad Schweinefleisch	99%	100%	100%	100%	100%	100%
Anteil Milch aus						
konv. Stallhaltung, Maissilagefutter	44%	45%	46%	47%	48%	50%
konv. Stallhaltung, Grassilagefutter	30%	30%	28%	26%	24%	19%
konv. Weidehaltung	20%	17%	16%	14%	12%	11%
ökologischer Haltung	6%	8%	10%	13%	16%	20%
Anteil Rindfleisch aus						
konv. Bullenmast, Maissilagefutter	52%	51%	49%	46%	47%	45%
konv. Bullenmast, Grassilagefutter	29%	27%	24%	21%	19%	15%
ökologischer Rindermast	5%	7%	8%	10%	12%	15%
extensiver Rindermast	13%	15%	18%	23%	22%	25%
Anteil Eier aus						
Käfighaltung	89%	80%	70%	70%	70%	70%
Bodenhaltung	6%	13%	21%	10%	10%	10%
Freilandhaltung und ökol. Haltung	5%	7%	9%	20%	20%	20%
Selbstversorgungsgrad Hühnereier	106%	105%	105%	105%	105%	105%
Selbstversorgungsgrad Geflügelfleisch	99%	95%	100%	105%	110%	115%

(Quelle: Für 2000 in Anlehnung an EUROSTAT 2004; IFCN verschiedene Jahrgänge-b; a, ab 2005 eigene Annahmen)

Anhangstabelle 6: Definition des Referenzszenarios für Ungarn

	2000	2005	2010	2015	2020	2030
Anteil Pflanzen aus						
ökologischer Landwirtschaft	1,8%	2,2%	3,5%	4,7%	6,0%	8,5%
konventioneller Landwirtschaft	98,2%	97,8%	96,5%	95,3%	94,0%	91,5%
Selbstversorgungsgrad Getreide	125%	140%	145%	150%	155%	165%
Selbstversorgungsgrad Kartoffeln	99%	Nicht wählbar				
Selbstversorgungsgrad Zucker	100%	100%	95%	90%	90%	90%
Selbstversorgungsgrad Leguminosen	100%	100%	100%	100%	100%	100%
Anteil Schweinefleisch aus						
konventioneller Intensivmast	25%	29%	33%	37%	42%	50%
konventioneller Standardmast	75%	70%	65%	61%	55%	46%
ökologischer Tierhaltung	1%	1%	2%	3%	3%	4%
Selbstversorgungsgrad Schweinefleisch	116%	116%	120%	125%	125%	125%
Anteil Milch aus						
konv. Stallhaltung, Maissilagefutter	70%	70%	70%	70%	70%	70%
konv. Stallhaltung, Grassilagefutter	20%	20%	19%	18%	17%	15%
konv. Weidehaltung	8%	8%	8%	7%	7%	7%
ökologischer Haltung	2%	2%	4%	5%	6%	9%
Anteil Rindfleisch aus						
konv. Bullenmast, Maissilagefutter	64%	64%	63%	63%	68%	65%
konv. Bullenmast, Grassilagefutter	27%	26%	24%	23%	23%	20%
ökologischer Rindermast	1%	2%	3%	4%	6%	8%
extensiver Rindermast	8%	9%	10%	10%	3%	8%
Anteil Eier aus						
Käfighaltung	89%	80%	70%	70%	70%	70%
Bodenhaltung	6%	13%	21%	10%	10%	10%
Freilandhaltung und ökol. Haltung	5%	7%	9%	20%	20%	20%
Selbstversorgungsgrad Hühnereier	102%	102%	102%	102%	102%	102%
Selbstversorgungsgrad Geflügelfleisch	140%	135%	130%	120%	115%	110%

(Quelle: Für 2000 in Anlehnung an EUROSTAT 2004; IFCN verschiedene Jahrgänge-b; a, ab 2005 eigene Annahmen)

Anhangstabelle 7: Definition des Nachhaltigkeitsszenarios für Deutschland

	2000	2005	2010	2015	2020	2030
Anteil Pflanzen aus						
ökologischer Landwirtschaft	3,2%	5,0%	10,0%	15,0%	20,0%	30,0%
konventioneller Landwirtschaft	96,8%	95,0%	90,0%	85,0%	80,0%	70,0%
Selbstversorgungsgrad Getreide	129%	125%	125%	125%	125%	125%
Selbstversorgungsgrad Kartoffeln	104%	Nicht wählbar				
Selbstversorgungsgrad Zucker	160%	150%	145%	145%	145%	145%
Selbstversorgungsgrad Leguminosen	48%	45%	45%	45%	45%	45%
Anteil Schweinefleisch aus						
konventioneller Intensivmast	58%	58%	57%	58%	58%	65%
konventioneller Standardmast	42%	37%	33%	27%	22%	10%
ökologischer Tierhaltung	1%	5%	10%	15%	20%	30%
Selbstversorgungsgrad Schweinefleisch	86%	88%	90%	92%	94%	96%
Anteil Milch aus						
konv. Stallhaltung, Maissilagefutter	27%	30%	32%	32%	33%	32%
konv. Stallhaltung, Grassilagefutter	40%	38%	34%	32%	30%	23%
konv. Weidehaltung	30%	27%	24%	21%	17%	15%
ökologischer Haltung	3%	5%	10%	15%	20%	30%
Anteil Rindfleisch aus						
konv. Bullenmast, Maissilagefutter	59%	58%	54%	49%	49%	46%
konv. Bullenmast, Grassilagefutter	22%	20%	20%	21%	23%	21%
ökologischer Rindermast	1%	2%	3%	3%	4%	4%
extensiver Rindermast	17%	20%	23%	26%	25%	29%
Anteil Eier aus						
Käfighaltung	86%	80%	70%	0%	0%	0%
Bodenhaltung	6%	13%	21%	80%	75%	70%
Freilandhaltung und ökol. Haltung	8%	7%	9%	20%	25%	30%
Selbstversorgungsgrad Hühnereier	77%	70%	65%	40%	40%	40%
Selbstversorgungsgrad Geflügelfleisch	71%	70%	70%	70%	70%	70%

(Quelle: Für 2000 in Anlehnung an BMVEL 2001; Döhler et al. 2002, ab 2005 eigene Annahmen)

Anhangstabelle 8: Definition des Nachhaltigkeitsszenarios für Bayern

	2000	2005	2010	2015	2020	2030
Anteil Pflanzen aus						
ökologischer Landwirtschaft	3,3%	5,0%	10,0%	15,0%	20,0%	30,0%
konventioneller Landwirtschaft	96,7%	95,0%	90,0%	85,0%	80,0%	70,0%
Selbstversorgungsgrad Getreide	116%	117%	115%	115%	115%	115%
Selbstversorgungsgrad Kartoffeln	100%	Nicht wählbar				
Selbstversorgungsgrad Zucker	199%	185%	180%	175%	175%	175%
Selbstversorgungsgrad Leguminosen	40%	40%	40%	40%	40%	40%
Anteil Schweinefleisch aus						
konventioneller Intensivmast	5%	4%	4%	4%	4%	8%
konventioneller Standardmast	94%	91%	86%	81%	76%	62%
ökologischer Tierhaltung	1%	5%	10%	15%	20%	30%
Selbstversorgungsgrad Schweinefleisch	72%	75%	75%	75%	75%	75%
Anteil Milch aus						
konv. Stallhaltung, Maissilagefutter	57%	57%	58%	58%	60%	60%
konv. Stallhaltung, Grassilagefutter	20%	20%	20%	19%	17%	10%
konv. Weidehaltung	20%	18%	12%	8%	3%	0%
ökologischer Haltung	3%	5%	10%	15%	20%	30%
Anteil Rindfleisch aus						
konv. Bullenmast, Maissilagefutter	69%	67%	63%	59%	58%	50%
konv. Bullenmast, Grassilagefutter	22%	23%	24%	23%	23%	22%
ökologischer Rindermast	1%	3%	5%	6%	9%	16%
extensiver Rindermast	8%	8%	9%	12%	10%	12%
Anteil Eier aus						
Käfighaltung	89%	73%	65%	0%	0%	0%
Bodenhaltung	6%	22%	28%	80%	75%	70%
Freilandhaltung und ökol. Haltung	5%	5%	7%	20%	25%	30%
Selbstversorgungsgrad Hühnereier	50%	50%	45%	30%	28%	25%
Selbstversorgungsgrad Geflügelfleisch	40%	40%	40%	40%	40%	40%

(Quelle: Für 2000 in Anlehnung an BMVEL 2001; Döhler et al. 2002, ab 2005 eigene Annahmen)

Anhangstabelle 9: Definition des Nachhaltigkeitsszenarios für Polen

	2000	2005	2010	2015	2020	2030
Anteil Pflanzen aus						
ökologischer Landwirtschaft	0,1%	2,0%	4,0%	6,0%	8,0%	10,0%
konventioneller Landwirtschaft	99,9%	98,0%	96,0%	94,0%	92,0%	90,0%
Selbstversorgungsgrad Getreide	98%	105%	110%	115%	120%	130%
Selbstversorgungsgrad Kartoffeln	114%	Nicht wählbar				
Selbstversorgungsgrad Zucker	111%	120%	105%	100%	100%	100%
Selbstversorgungsgrad Leguminosen	70%	70%	70%	70%	70%	70%
Anteil Schweinefleisch aus						
konventioneller Intensivmast	5%	6%	8%	9%	10%	15%
konventioneller Standardmast	95%	92%	88%	85%	82%	75%
ökologischer Tierhaltung	0%	2%	4%	6%	8%	10%
Selbstversorgungsgrad Schweinefleisch	105%	108%	107%	106%	105%	100%
Anteil Milch aus						
konv. Stallhaltung, Maissilagefutter	30%	32%	33%	35%	36%	37%
konv. Stallhaltung, Grassilagefutter	50%	47%	45%	42%	40%	38%
konv. Weidehaltung	20%	19%	18%	17%	16%	15%
ökologischer Haltung	0%	2%	4%	6%	8%	10%
Anteil Rindfleisch aus						
konv. Bullenmast, Maissilagefutter	28%	27%	29%	28%	33%	40%
konv. Bullenmast, Grassilagefutter	65%	55%	52%	42%	40%	31%
ökologischer Rindermast	0%	2%	3%	3%	4%	6%
extensiver Rindermast	7%	17%	16%	27%	23%	23%
Anteil Eier aus						
Käfighaltung	86%	85%	81%	78%	74%	67%
Bodenhaltung	6%	8%	10%	12%	14%	18%
Freilandhaltung und ökol. Haltung	8%	7%	9%	10%	12%	15%
Selbstversorgungsgrad Hühnereier	105%	108%	110%	115%	115%	118%
Selbstversorgungsgrad Geflügelfleisch	105%	115%	120%	120%	120%	120%

(Quelle: Für 2000 in Anlehnung an EUROSTAT 2004; Polnisches Landwirtschaftsministerium 2004; IFCN verschiedene Jahrgänge-b; a, ab 2005 eigene Annahmen)

Anhangstabelle 10: Definition des Nachhaltigkeitsszenarios für Tschechien

	2000	2005	2010	2015	2020	2030
Anteil Pflanzen aus						
ökologischer Landwirtschaft	4,0%	6,8%	10,0%	15,0%	20,0%	30,0%
konventioneller Landwirtschaft	96,0%	93,2%	90,0%	85,0%	80,0%	70,0%
Selbstversorgungsgrad Getreide	110%	117%	117%	120%	122%	130%
Selbstversorgungsgrad Kartoffeln	96%	Nicht wählbar				
Selbstversorgungsgrad Zucker	105%	110%	95%	95%	95%	95%
Selbstversorgungsgrad Leguminosen	130%	130%	130%	130%	130%	130%
Anteil Schweinefleisch aus						
konventioneller Intensivmast	58%	59%	56%	55%	54%	53%
konventioneller Standardmast	41%	40%	34%	30%	26%	18%
ökologischer Tierhaltung	1%	2%	10%	15%	20%	30%
Selbstversorgungsgrad Schweinefleisch	99%	100%	100%	100%	100%	100%
Anteil Milch aus						
konv. Stallhaltung, Maissilagefutter	44%	44%	45%	46%	46%	47%
konv. Stallhaltung, Grassilagefutter	30%	29%	27%	25%	23%	16%
konv. Weidehaltung	20%	19%	18%	14%	11%	7%
ökologischer Haltung	6%	8%	10%	15%	20%	30%
Anteil Rindfleisch aus						
konv. Bullenmast, Maissilagefutter	52%	51%	49%	46%	47%	46%
konv. Bullenmast, Grassilagefutter	29%	27%	25%	21%	19%	15%
ökologischer Rindermast	5%	7%	8%	10%	13%	15%
extensiver Rindermast	13%	15%	18%	23%	22%	24%
Anteil Eier aus						
Käfighaltung	89%	80%	70%	70%	70%	60%
Bodenhaltung	6%	13%	21%	10%	10%	10%
Freilandhaltung und ökol. Haltung	5%	7%	9%	20%	20%	30%
Selbstversorgungsgrad Hühnereier	106%	105%	105%	105%	105%	105%
Selbstversorgungsgrad Geflügelfleisch	99%	95%	100%	105%	110%	115%

(Quelle: Für 2000 in Anlehnung an EUROSTAT 2004; IFCN verschiedene Jahrgänge-b; a, ab 2005 eigene Annahmen)

Anhangstabelle 11: Definition des Nachhaltigkeitsszenarios für Ungarn

	2000	2005	2010	2015	2020	2030
Anteil Pflanzen aus						
ökologischer Landwirtschaft	1,8%	3,0%	4,0%	6,0%	8,0%	10,0%
konventioneller Landwirtschaft	98,2%	97,0%	96,0%	94,0%	92,0%	90,0%
Selbstversorgungsgrad Getreide	125%	140%	145%	150%	155%	165%
Selbstversorgungsgrad Kartoffeln	99%	Nicht wählbar				
Selbstversorgungsgrad Zucker	100%	100%	95%	90%	90%	90%
Selbstversorgungsgrad Leguminosen	100%	100%	100%	100%	100%	100%
Anteil Schweinefleisch aus						
konventioneller Intensivmast	25%	28%	32%	35%	40%	47%
konventioneller Standardmast	75%	69%	64%	59%	52%	43%
ökologischer Tierhaltung	1%	3%	4%	6%	8%	10%
Selbstversorgungsgrad Schweinefleisch	116%	116%	120%	125%	125%	125%
Anteil Milch aus						
konv. Stallhaltung, Maissilagefutter	70%	69%	70%	70%	69%	68%
konv. Stallhaltung, Grassilagefutter	20%	20%	19%	17%	16%	14%
konv. Weidehaltung	8%	8%	7%	7%	7%	8%
ökologischer Haltung	2%	3%	4%	6%	8%	10%
Anteil Rindfleisch aus						
konv. Bullenmast, Maissilagefutter	64%	63%	62%	62%	66%	65%
konv. Bullenmast, Grassilagefutter	27%	26%	24%	23%	23%	19%
ökologischer Rindermast	1%	3%	4%	5%	8%	9%
extensiver Rindermast	8%	9%	10%	10%	3%	7%
Anteil Eier aus						
Käfighaltung	89%	80%	70%	70%	70%	70%
Bodenhaltung	6%	13%	21%	10%	10%	10%
Freilandhaltung und ökol. Haltung	5%	7%	9%	20%	20%	20%
Selbstversorgungsgrad Hühnereier	102%	102%	102%	102%	102%	102%
Selbstversorgungsgrad Geflügelfleisch	140%	135%	130%	120%	115%	110%

(Quelle: Für 2000 in Anlehnung an EUROSTAT 2004; IFCN verschiedene Jahrgänge-b; a, ab 2005 eigene Annahmen)

Anhangstabelle 12: Berechnung des verfügbaren Strohs anhand der Humusbilanz für Deutschland

	Anbau	Humusbilanz pro ha
	%	
Getreide ohne Mais	0,55	- 169,89
Körnermais	0,04	- 11,55
Leguminosen	0,02	3,09
Kartoffeln	0,02	- 20,86
Rüben	0,04	- 33,85
Ölfrüchte	0,10	- 31,32
mehnjähriges Futter	0,04	23,68
Silomais	0,10	- 61,26
Sommerzwischenfrucht	0,05	4,71
Winterzwischenfrucht	0,02	3,13
Zwischensumme		- 294,11
	Reststoffe	
	t/ha	
Rübenblatt	321	14,32
Mais	862	35,55
Getreidestroh	514	311,87
Rapsstroh	428	47,91
vergorene Gülle	36	35,72
vergorener Mist	23	22,91
Zwischensumme		468,27
Saldo		174,16
Soll		0
Verfügbares Getreidestroh		37%

(Quelle: Eigene Berechnungen in Anlehnung an BMVEL 2005b)

Ergebnisse der Potenzialberechnungen

Anhangstabelle 13: Flächenpotenziale

Land	Jahr	Referenzszenario (REF)			Nachhaltigkeits-szenario (NH)			Szenarette zu reduzier-ten Exporten (NHSV)		
		Mio. ha			Mio. ha			Mio. ha		
		Gesamt	Grün-land	Acker	Gesamt	Grün-land	Acker	Gesamt	Grün-land	Acker
Deutschland	2000	1,5	0,0	1,5	1,5	0,0	1,5	1,5	0,0	1,5
	2005	2,5	0,7	1,7	2,3	0,7	1,6	2,3	0,7	1,6
	2010	2,7	0,8	1,9	2,2	0,7	1,5	2,5	0,7	1,8
	2015	2,8	0,8	2,0	2,2	0,7	1,5	2,5	0,7	1,9
	2020	2,9	0,9	2,1	2,2	0,8	1,4	2,7	0,8	1,9
	2030	3,3	1,0	2,3	2,6	0,9	1,7	3,1	0,9	2,2
Polen	2000	1,8	0,0	1,8	1,8	0,0	1,8	1,8	0,0	1,8
	2005	2,5	0,5	2,0	2,4	0,5	1,9	2,4	0,5	1,9
	2010	2,9	0,7	2,2	2,6	0,6	2,0	2,9	0,6	2,3
	2015	2,9	0,6	2,3	2,5	0,5	2,0	3,1	0,5	2,7
	2020	3,0	0,8	2,2	2,5	0,7	1,8	3,5	0,7	2,8
	2030	3,3	0,9	2,3	2,7	0,7	1,9	4,1	0,7	3,4
Bayern	2000	0,2	0,0	0,2	0,2	0,0	0,2	0,2	0,0	0,2
	2005	0,4	0,2	0,2	0,3	0,1	0,2	0,3	0,1	0,2
	2010	0,5	0,2	0,3	0,4	0,1	0,2	0,4	0,1	0,3
	2015	0,5	0,2	0,3	0,3	0,1	0,2	0,4	0,1	0,3
	2020	0,5	0,2	0,3	0,3	0,1	0,2	0,4	0,1	0,3
	2030	0,6	0,2	0,3	0,3	0,1	0,2	0,4	0,1	0,3
Tschechien	2000	0,3	0,0	0,3	0,3	0,0	0,3	0,3	0,0	0,3
	2005	0,3	0,1	0,2	0,3	0,1	0,2	0,3	0,1	0,2
	2010	0,4	0,1	0,3	0,4	0,1	0,3	0,5	0,1	0,4
	2015	0,4	0,1	0,3	0,4	0,1	0,3	0,5	0,1	0,4
	2020	0,5	0,1	0,4	0,4	0,1	0,3	0,6	0,1	0,5
	2030	0,5	0,1	0,4	0,4	0,1	0,3	0,6	0,1	0,5
Ungarn	2000	0,3	0,0	0,3	0,3	0,0	0,3	0,3	0,0	0,3
	2005	0,6	0,0	0,5	0,5	0,0	0,5	0,5	0,0	0,5
	2010	0,6	0,1	0,6	0,5	0,0	0,5	0,9	0,0	0,9
	2015	0,6	0,1	0,6	0,5	0,0	0,5	1,1	0,0	1,1
	2020	0,7	0,1	0,6	0,5	0,1	0,5	1,3	0,1	1,2
	2030	0,7	0,1	0,6	0,6	0,1	0,5	1,4	0,1	1,3

Anhangstabelle 14: Energiepotenziale im Referenzszenario

PJ/a		Gesamt	Anbau mix	Grün-land	Anbau-potenzial	Ernte reste	Exkre mente	Summe Reststoffe
DE REF	2000	452	262	0	262	96	94	190
	2005	527	314	46	360	78	88	166
	2010	586	373	50	423	78	85	163
	2015	624	419	51	470	76	78	155
	2020	666	457	58	515	75	77	152
	2030	762	553	67	620	71	71	142
PL REF	2000	290	234	0	234	39	18	57
	2005	365	285	18	303	43	19	62
	2010	430	336	25	361	45	24	68
	2015	478	383	21	405	46	27	74
	2020	509	399	30	428	48	32	80
	2030	591	471	34	506	50	36	86
BY REF	2000	63	30	0	30	10	23	33
	2005	86	43	11	54	11	21	32
	2010	101	57	13	70	11	20	31
	2015	108	66	12	79	11	19	30
	2020	113	69	15	84	11	19	30
	2030	130	84	17	102	10	17	28
CZ REF	2000	56	35	0	35	10	11	21
	2005	59	34	3	37	12	11	22
	2010	76	50	4	54	11	10	22
	2015	81	55	4	59	11	11	22
	2020	89	62	4	67	11	11	22
	2030	96	69	4	74	12	11	22
HU REF	2000	71	37	0	37	27	7	34
	2005	97	65	0	65	26	6	32
	2010	106	73	1	73	26	7	33
	2015	111	77	1	78	26	7	34
	2020	120	85	2	86	26	8	34
	2030	134	98	1	100	26	8	35

Anhangstabelle 15: Energiepotenziale im Nachhaltigkeitsszenario

PJ/a		Gesamt	Anbau mix	Grünland	Anbaupotenzial	Erntereste	Exkrement	Summe Reststoffe
DENH	2000	531	262	0	262	175	94	269
	2005	562	283	46	329	145	89	234
	2010	576	301	46	347	142	87	229
	2015	572	308	44	352	139	80	220
	2020	578	314	49	362	136	80	216
	2030	665	404	58	462	128	75	203
PLNH	2000	329	234	0	234	78	18	96
	2005	388	271	13	284	85	19	104
	2010	434	307	17	324	87	24	111
	2015	467	337	14	351	89	28	117
	2020	477	335	18	352	92	33	124
	2030	543	393	20	413	93	37	130
BYNH	2000	73	30	0	30	21	23	44
	2005	89	36	9	46	22	21	43
	2010	95	44	9	53	21	21	41
	2015	93	46	8	54	20	20	40
	2020	88	43	7	50	19	20	39
	2030	98	56	6	62	18	18	36
CZNH	2000	66	35	0	35	19	11	30
	2005	68	33	3	35	22	11	32
	2010	79	44	3	46	22	11	32
	2015	80	45	3	48	22	11	33
	2020	85	50	3	53	22	11	33
	2030	92	57	2	59	22	11	33
HUNH	2000	93	37	0	37	49	7	56
	2005	111	57	0	57	48	6	54
	2010	118	63	0	63	48	7	55
	2015	119	63	0	63	48	7	56
	2020	124	67	1	68	48	8	56
	2030	140	82	1	83	48	8	57

Anhangstabelle 16: Energiepotenziale in der Szenarette zu reduzierten Exporten

PJ/a		Gesamt	Anbau mix	Grünland	Anbaupotenzial	Erntereste	Exkrement	Summe Reststoffe
DENHSV	2000	531	262	0	262	175	94	269
	2005	562	283	46	329	145	89	234
	2010	623	355	46	401	136	87	223
	2015	643	389	44	433	130	80	210
	2020	680	428	49	477	123	80	203
	2030	770	522	58	580	115	75	190
PLNHSV	2000	329	234	0	234	78	18	96
	2005	388	271	13	284	85	19	104
	2010	486	363	17	380	83	24	106
	2015	572	450	14	464	81	28	109
	2020	641	510	18	528	80	33	113
	2030	809	677	20	697	76	37	112
BYNHSV	2000	73	30	0	30	21	23	44
	2005	89	36	9	46	22	21	43
	2010	104	54	9	63	20	21	40
	2015	112	67	8	75	18	20	37
	2020	112	69	7	76	17	20	36
	2030	123	83	6	90	15	18	33
CZNHSV	2000	66	35	0	35	19	11	30
	2005	68	33	3	35	22	11	32
	2010	90	56	3	59	20	11	31
	2015	104	72	3	74	19	11	30
	2020	113	81	3	83	19	11	30
	2030	131	100	2	102	17	11	29
HUNHSV	2000	93	37	0	37	49	7	56
	2005	111	57	0	57	48	6	54
	2010	165	114	0	115	44	7	51
	2015	197	148	0	148	42	7	49
	2020	224	175	1	176	40	8	48
	2030	259	211	1	211	39	8	48