



Dirk Wolters

Bioenergie aus ökologischem Landbau

Möglichkeiten und Potentiale

unter Mitarbeit von
Andrea Beste (SÖL) und Alena-Maria Lange

Nr. 91 • Februar 1999
ISSN 0949-5266

Wuppertal Papers

Inhaltsverzeichnis

1 EINFÜHRUNG	1
2 ERZEUGUNG VON ENERGIETRÄGERN IM ÖKOLOGISCHEN LANDBAU	5
2.1 RESSOURCENSCHONUNG DURCH ÖKOLOGISCHEN LANDBAU	5
2.2 CHARAKTERISIERUNG DER ENERGIETRÄGERPRODUKTION NACH PFLANZENBAULICHEN UND ÖKOLOGISCHEN ASPEKTEN	7
2.2.1 Biomasse als Festbrennstoff	8
2.2.2 Biomasse zur Bereitstellung flüssiger Energieträger	12
2.2.3 Biogas	16
2.2.4 Zusammenfassende Beurteilung der Energieträger	18
2.3 MÖGLICHKEITEN DER INTEGRATION VON ENERGIEPFLANZEN IN ÖKOLOGISCHE ANBAUSYSTEME	19
3 POTENTIALE DER ENERGIETRÄGERBEREITSTELLUNG	21
3.1 METHODIK DER POTENTIALBESTIMMUNG	21
3.1.1 Beschreibung der Szenarien	22
3.1.2 Basisannahmen	23
3.1.3 Vorgehensweise im Detail	25
3.2 EINGANGSWERTE ALLER SZENARIEN	30
3.3 SZENARIO ‘ÖKO-LANDBAU MIT HEUTIGER PRODUKTIVITÄT’	32
3.4 SZENARIO ‘ÖKO-LANDBAU MIT GESTEIGERTER PRODUKTIVITÄT’	33
3.5 SZENARIO ‘ÖKO-LANDBAU MIT VERÄNDERTER ERNÄHRUNG’	36
3.6 KRITISCHE BETRACHTUNG DER SZENARIEN	37
3.7 MENGEN- UND ENERGIEPOTENTIALE	39
4 ZUSAMMENFASSUNG	43
LITERATURVERZEICHNIS	49
PERSÖNLICHE MITTEILUNGEN	52

1 Einführung

Der hohe Energiebedarf Deutschlands wird fast ausschließlich über den Einsatz fossiler Energieträger gedeckt. Die Nutzung dieser Energieträger stellt nicht nur einen Verbrauch endlicher Ressourcen dar, sondern weist darüber hinaus weitreichende negative Umwelteffekte auf. Als Ausweg aus diesen Problemen werden heute vor allem zwei Strategien diskutiert, welche nicht unabhängig voneinander gesehen werden können: der rationelle Umgang mit Energie (REN) und die Nutzung erneuerbarer Energien (REG).

Das Ziel der ersten Strategie, auch Effizienzrevolution genannt, besteht in erster Linie darin, gleiche Energiedienstleistungen mit möglichst wenig Energieeinsatz bereitzustellen. Eine Energiedienstleistung stellt beispielsweise die Beleuchtung eines Raumes dar. Gegenstand der Effizienzrevolution wäre in diesem Fall also, die Beleuchtung des Raumes in gleicher Intensität wie zuvor sicher zu stellen und durch geeignete Technologien (wie Energiesparlampen) den dafür notwendigen Stromeinsatz zu minimieren.

Diese auf ein Minimum reduzierte eingesetzte Energie soll dann, und dies ist die zweite Strategie, über Energiequellen erfolgen, die die Ökosysteme nur in einem solchen Maße belasten, wie sie sich selber regenerieren können. Eine solche risikominimierende Strategie beinhaltet u. a. den Ausstieg aus der Kernenergie, einen geringeren Verbrauch fossiler Energieträger sowie einen deutlich zunehmenden Einsatz erneuerbarer Energien.

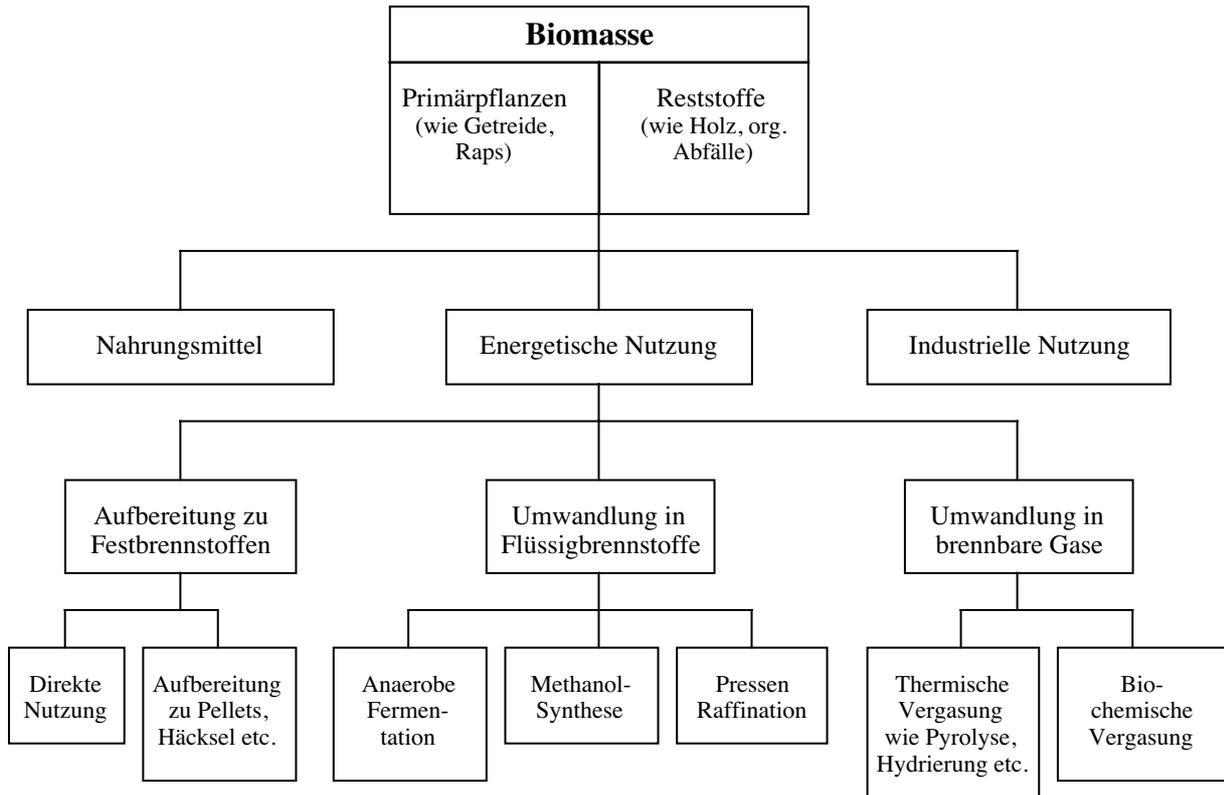
Die Nutzung erneuerbarer Energien kann in verschiedensten Formen erfolgen und sollte stets als ein Mix verstanden werden, bei dem die Nachteile einzelner REGs gegenseitig ausgeglichen werden. Erneuerbare Energien können beispielsweise folgendermaßen genutzt werden: als direkte Umwandlung der eingestrahelten Solarenergie (in strom- und nutzwärmeerzeugenden Anlagen) oder als Nutzung indirekter Effekte der Sonne (beispielsweise durch die Umwandlung kinetischer Energie in Windenergieanlagen) oder des Mondes (Gezeitenenergie). Neben einer Reihe weiterer Bereitstellungsmöglichkeiten nimmt die Erzeugung und Nutzung von Biomasse¹ (s. Abbildung 1) einen großen Stellenwert in der Diskussion über zukunftsfähige Energiesysteme ein.

Dies liegt darin begründet, daß die Energiequellen mit den höchsten Potentialen (also Solar- und Windenergie) fluktuierend sind, also eine schwankende Angebotsverteilung aufweisen. Dieses schwankende Angebot muß der Nachfrage nach Energie angeglichen werden, wofür verschiedene technische Maßnahmen bereits zur Verfügung stehen. In diesem Sinne kann die Nutzung von Biomasse eine große Bedeutung erlangen, da Biomasse den Vorteil hat, leicht speicherbar und beliebig, d. h. dem Bedarf entsprechend einsetzbar zu sein.

Durch die Nutzung von Biomasse, also von nachwachsenden Rohstoffen, ergibt sich ein direkter Verknüpfungspunkt zwischen den zwei vielleicht dringendsten umweltpolitischen Problemfeldern: zum einen der Energiebereich mit den daraus resultierenden Schädigun-

¹ Der Begriff 'Biomasse' wird hier als Synonym für Biogas und Biomasse verwendet, entspricht also dem englischen Begriff 'bioenergy'.

gen (Klimaproblematik etc.) und zum zweiten die heute vornehmlich praktizierte Landwirtschaftsform mit seinen negativen Auswirkungen auf Boden, Wasser und Tierwelt (Bodendegradation, Nitratauswaschungen, Verringerung der Biodiversität etc.). Dieses hat zur Folge, daß der Einsatz von Biomasse nicht nur unter energetisch-klimatischen Gesichtspunkten betrachtet werden darf, sondern in gleicher Weise unter Nachhaltigkeitsaspekten im landwirtschaftlichen Bereich.



verändert nach IfE, Universität München

Abb. 1: Umwandlungsoptionen von Biomasse

Aus agrarpolitischer Sicht bietet die Produktion von Biomasse zur energetischen und industriellen Nutzung der Landwirtschaft neue Einkommensmöglichkeiten. Aus den oben erwähnten umweltpolitischen Gründen scheidet jedoch ein Fortführen der heutigen Form der Landwirtschaft aus. Die einzige heute bekannte Lösung stellt eine flächendeckende Einführung des ökologischen Landbaus als bislang ressourcenschonendste und umweltverträglichste Form der Landwirtschaft dar, wie sie von vielen Seiten gefordert wird (RSU 1992, Enquete 1994, BUND/Misereor 1996, IFOAM 1997, SÖL, UBA 1997).

Bisherige Biomassepotentialabschätzungen gingen entweder - bei aller vorbildlichen Detailliertheit - von der konventionellen Landwirtschaft aus (u.a. Kaltschmitt/Wiese 1993, Kaltschmitt/Reinhardt 1997) oder genügen, was die Potentialerhebung im Ökolandbau betrifft, nur unzureichend wissenschaftlichen Anforderungen und beruhen eher auf persönlichen Einschätzungen denn auf abgesicherten Ergebnissen.

In dieser Untersuchung soll somit die Frage geklärt werden, ob die Einführung eines flächendeckend ökologischen Landbaus und ein gleichzeitig propagierter Anbau von Energieträgern auf landwirtschaftlichen Flächen grundsätzlich vereinbar sind und welche Energiepotentiale sich daraus ergeben könnten. Die Nutzung von forstwirtschaftlichen Reststoffen ist nicht Gegenstand der vorliegenden Untersuchung wie auch mögliche Alternativnutzungen als Industrierohstoffe (zur Herstellung von Kleidung etc.). Hinsichtlich einer nachhaltigen Waldnutzung besteht dennoch Klärungsbedarf, da auch hier große Energiepotentiale erwartet werden.

Diese Untersuchung beschränkt sich zudem auf das Gebiet der Bundesrepublik Deutschland. Obwohl die BRD in der Europäischen Union (EU) integriert ist, soll zunächst analysiert werden, ob unser Ernährungssystem als zukunftsfähig zu bezeichnen ist und inwiefern Möglichkeiten der energetischen Biomassenutzung bestehen. Dies entspricht auch den aktuellen Diskussionen in Deutschland, gleichwohl sollte sich eine entsprechende Untersuchung für das gesamte Gebiet der EU anschließen.

Auch werden in dieser Studie keine Aussagen über ökonomische Aspekte gemacht, es sollen ausschließlich die technisch-ökologischen Potentiale² bis zum Jahr 2050 ermittelt werden.

Die Arbeit richtet sich gemäß ihres Aufbaus an zwei Zielgruppen: einerseits an Akteure des landwirtschaftlichen Bereichs. Diese können der vorliegenden Untersuchung Informationen entnehmen, welchen Einfluß verschiedene Energiepflanzen auf Anbausysteme haben können und inwiefern eine Integration in ökologisch verträgliche Fruchtfolgen möglich ist. Andererseits sollen für Akteure des Energiesektors belastbare Zahlen bezüglich der Biomassepotentiale im ökologischen Landbau unter verschiedenen Basisannahmen ermittelt werden. Bei der hier vorgenommenen integrativen Betrachtung zweier Themenfelder ist zudem der Wunsch der Verfasser zum Ausdruck gebracht, daß sich beide Zielgruppen auch mit den Aspekten der jeweils anderen auseinandersetzen. Eine ganzheitliche Sichtweise soll damit in zukünftigen Diskussionen zum Thema Biomassenutzung stärker Beachtung finden.

Zunächst werden in Kapitel 2 Grundprinzipien der ökologischen Landwirtschaft und der daraus resultierende Beitrag zum Ressourcenschutz erläutert sowie ausgewählte Energieträger vorgestellt, bezüglich ihrer ökologischen Ansprüche charakterisiert und die Auswirkungen eines Anbaus auf den Standort aufgezeigt. Es erfolgt eine kurze Darstellung der Ansprüche an Klima und Witterung, Boden und Fruchtfolge sowie Nährstoffversorgung und Unkrautregulierung. Einflüsse auf den Standort beinhalten u.a. Parameter wie Erosionsrisiko, Auswaschungsgefährdung von Stickstoff, unkrautunterdrückende bzw. -fördernde und phytosanitäre Wirkungen. Abgeschlossen wird dieser Abschnitt mit einer

² Mit 'technischen' Potentialen bezeichnet man diejenigen, welche mit heute zur Verfügung stehenden Technologien erschließbar sind, also dem Stand der Technik entsprechen. Hier ist noch die Einschränkung 'ökologisch' hinzu genommen worden, um deutlich erkennen zu lassen, daß besonders im Landwirtschaftssektor dem Einsatz von Technik Grenzen gesetzt sind.

vergleichenden Bewertung der einzelnen Kulturen und der Vorstellung konkreter Beispiel-
fruchtfolgen.

Im 3. Kapitel wird dann eine Abschätzung der Mengen- und Energiepotentiale bei flächen-
deckendem Öko-Landbau vorgenommen. Hierbei werden 3 Szenarien mit jeweils 2 Vari-
anten entwickelt, die verschiedene für den Energieträgeranbau bedeutende Entwicklungen
berücksichtigen (Ertragssteigerungen, Veränderung der Ernährungsgewohnheiten).

Die wichtigsten Ergebnisse können in aller Kürze auch der abschließenden zusammenfas-
senden Betrachtung entnommen werden.

2 Erzeugung von Energieträgern im ökologischen Landbau

Unter dem Begriff ‘Nachwachsende Energieträger’ werden biogene Stoffe verstanden, die einer energetischen Verwertung zugeführt werden sollen. Dabei handelt es sich um eine Vielzahl aus der Land- und Forstwirtschaft stammender Roh- und Reststoffe, also um ein- oder mehrjährige Kultur- bzw. Nutzpflanzen sowie diverser anfallender Sekundärgüter. Der Begriff ‘Nachwachsende Rohstoffe’ subsummiert hingegen alle potentiellen Nutzungsarten, also die Weiterverwendung von Rohstoffen zur Herstellung verschiedener Produkte wie Kleidung und Verpackungen.

Die Erzeugung von Energieträgern in der Landwirtschaft ist in zwei Bereiche unterteilbar:

- Eine Form ist die gezielte Pflanzenproduktion mit der Hauptfunktion als Energieträger. Diese Form der Nutzung steht damit in direkter Konkurrenz zur Nahrungsmittelproduktion.
- Die zweite Option besteht in einer Nutzung pflanzlicher oder tierischer Reststoffe, die in der Regel die Beibehaltung der ursprünglichen Produktionsstruktur ermöglicht (Haas/Geier 1995), aber eine Umstrukturierung des Nährstoffkreislaufs erfordert (Lange 1998).

Werden Nutzpflanzen oder Pflanzenkomponenten speziell für die energetische Nutzung angebaut, so spricht man auch häufig von ‘Energiepflanzen’ (Kaltschmitt/Wiese 1993, S.129). Primäres Ziel bei der Produktion von Energiepflanzen ist die Erzielung hoher Hektarerträge an verwertbarer Biomasse an. Es wird dabei unterschieden zwischen der Erzeugung fester Energieträger, die entweder nach der Ernte direkt oder nach einer vergleichsweise einfachen mechanischen Behandlung (z.B. Getreide als Ganzpflanzen) in thermische Energie umgewandelt werden, der Gewinnung flüssiger Sekundärenergieträger durch die Extraktion von Ölen (z.B. Öl aus Sonnenblumen) oder einer Erzeugung von Alkohol (z.B. aus Kartoffeln) sowie einer Umwandlung zu gasförmigen Energieträgern (z.B. Schwachgas oder Wasserstoff aus fester Biomasse).

Im ersten Teil dieses Kapitels werden zunächst einige Definitionen vorangestellt und daran anschließend erfolgt die Vorstellung und ökosystemare Beurteilung der untersuchten Pflanzen und Reststoffe.

2.1 Ressourcenschonung durch ökologischen Landbau

Durch Bewirtschaftung und ständige Entnahme von Biomasse unterbricht die Landwirtschaft den Prozeß der Sukzession, dem natürliche Ökosysteme unterliegen. Durch das Offenhalten von Landschaften war sie so einst maßgeblich beteiligt an der Entwicklung einer vielfältig strukturierten und artenreichen Kulturlandschaft. Heute dagegen ist die konventionelle Landwirtschaft in erheblichem Maße an der Zerstörung von Boden, Verunreinigung von Grund- und Oberflächengewässern, Belastung von Luft, sowie einer Dezi-

mierung der Artenvielfalt und Veränderung des Landschaftsbildes beteiligt. Diese Entwicklung beruht in erster Linie auf einem stark angestiegenen Fremdmiteinsatz in Form von synthetischen Stickstoffdüngern, chemisch-synthetischen Pflanzenschutzmitteln und importierten Futtermitteln sowie der Anwendung moderner Technologie und Maschinen, die aus Rationalisierungsgründen eine Ausräumung störender landschaftlicher Strukturen erfordern (UBA 1997).

Der ökologische Landbau stellt eine weitgehend anerkannte Alternative zur konventionellen Landbewirtschaftungsweise dar. Der Natur- und Landschaftshaushalt werden mit dem Verfahren des ökologischen Landbaus geschützt, die Ökosysteme in ihrer Funktion erhalten und nicht erneuerbare Energie- und Rohstoffquellen geschont (Köpke 1997). Die Erhaltung und - in gewissen Grenzen - nachhaltige Steigerung der natürlichen Bodenfruchtbarkeit steht im Mittelpunkt der ökologischen Landbewirtschaftung. Durch Maßnahmen wie schonende Bodenbearbeitung, standortgerechte Fruchtfolgen und Förderung des Bodenlebens durch organische Düngung wird dieses sichergestellt.

Der Einsatz mineralischer Stickstoffdünger und chemisch-synthetischer Pflanzenschutzmittel ist nicht erlaubt. Damit besteht durch ökologischen Landbau ein erheblich geringeres Gefährdungspotential für Grund- und Oberflächengewässer. Auch die Nitratbelastung von Gewässern ist im ökologischen Landbau erheblich herabgesetzt. Dies liegt u.a. darin begründet, daß hier nicht die Düngung der Pflanze im Vordergrund steht, sondern die Förderung des Bodenlebens, welches seinerseits bei ausreichend organischer Substanz im Boden eine bedarfsgerechte Mobilisierung von Pflanzennährstoffen sicherstellt.

Im ökologischen Landbau wird die Bereicherung der Agrarlandschaft mit Strukturelementen gezielt gefördert und führt damit nicht, wie in der konventionellen Landwirtschaft, zu einer Ausräumung der Landschaft. Dies hängt nicht zuletzt damit zusammen, daß der ökologische Landbau ohne den Einsatz manipulativ einsetzbarer Produktionsmittel weitaus stärker von intakten, stabilen, d.h. zur Selbstregulation befähigten Agrarökosystemen abhängig ist. Folglich weisen Flächen des ökologischen Landbaus eine deutlich vielfältigere Artenzusammensetzung als konventionell bewirtschaftete Flächen auf (Ammer et al 1988, Friebe 1997).

„Die Fruchtfolgegestaltung ist das Kernstück des ökologisch wirtschaftenden Betriebes. Durch die Vielfalt der Kulturen wird es möglich, selbstregelnde Kräfte und Prozesse des Agrarökosystems zu nutzen. Dies heißt im einzelnen, die prophylaktische Schädlingsverringerung durch die Vielfalt der Arten zu fördern, die Bodenfruchtbarkeit zu erhalten bzw. zu vermehren sowie eine ausreichende Humusversorgung und eine Stickstoffanreicherung durch Knöllchenbakterien sicherzustellen. Weitere Aufgaben der Fruchtfolge sind die Förderung eines hohen Abwehrpotentials des Bodens gegen Krankheiten und Schädlinge und die Intensivierung der Bodenlockerung und des Nährstoffaufschlusses durch Tiefwurzler“ (Lange 1998). Dabei unterliegt auch die Fruchtfolgegestaltung Faktoren wie dem Klima, der spezifischen Ausstattung mit Maschinen und Gebäuden, dem Arbeitskräftebesatz und der allgemeinen Betriebsstruktur.

Um diesen Aufgaben gerecht zu werden, müssen daher in der Abfolge der einzelnen Kulturen die Auswirkungen auf Gare und Bodenfruchtbarkeit, die Nährstoffansprüche der

Kulturen, die Möglichkeit zur Bodenlockerung und Bedeckung durch Zwischenfruchtanbau sowie die Wirkung auf Unkrautregulierung und Pflanzengesundheit Beachtung finden. Besonders zu berücksichtigen sind dabei Vorfruchtwert und Selbstverträglichkeit.

Folgende Grundregeln stellen nach heutigen Erkenntnissen den Rahmen für ausgeglichene, ökologisch verträgliche und ökonomisch sinnvolle Fruchtfolgen im ökologischen Landbau (Köpke 1997, Hampl 1996, Herrmann 1991, Kahnt 1997):

- Humus- bzw. Stickstoffzehrer nach -mehrern
- Wechsel zwischen Winterung und Sommerung
- Einschalten von Blatt- vor oder nach Halmfrüchten
- Stellung von unkrautempfindlichen Kulturen nach unkrautunterdrückenden Beständen
- Erweiterung der Kulturarten durch Zwischenfruchtgemenge
- Möglichst ganzjähriger Schutz des Bodens durch Bewuchs
- Lebendverbau der mechanischen Lockerung durch vielfältig wurzelnde Fruchtfolgeglieder

Der Verbrauch nichterneuerbarer Energien und Rohstoffe wird im ökologischen Landbau möglichst gering gehalten. Durch die im Vergleich größere mechanische Intensität steigt eventuell der Energieverbrauch der Maschinen (relativ wie absolut)³, durch das Wegfallen der Futtermittelimporte und vor allem der N-Düngerproduktion und liegt jedoch der auf die Fläche bezogene Verbrauch etwa zwei Drittel unterhalb eines konventionellen Vergleichsbetriebes, auf die produzierten Mengen bezogen um etwa 50 % niedriger (Haas/Köpke 1994). Entsprechend geringer sind auch die Emissionen umweltrelevanter Gase.

2.2 Charakterisierung der Energieträgerproduktion nach pflanzenbaulichen und ökologischen Aspekten

Bei der Auswahl der Energieträger wurde in erster Linie auf die Eignung für eine Integration in ökologische Anbausysteme geachtet. Weiterhin sollten insbesondere jene Pflanzen analysiert werden, die in den aktuellen Diskussionen und Forschungsvorhaben eine Rolle spielen.

Es erfolgt eine Einteilung der Pflanzen/Energieträger nach ihrer späteren Einsatzart. Es werden Pflanzen betrachtet, die als Festbrennstoff zum Einsatz kommen könnten, daran anschließend solche, die sich über Zwischenprozesse in flüssige Energieträger umwandeln lassen und zuletzt die Möglichkeiten der Umwandlung von Reststoffen in gasförmige Bioenergie. Abschließend erfolgt eine vergleichende Bewertung aller hier diskutierten Optionen. Nicht untersucht wird in dieser Studie die Vergasung (Pyrolyse) von fester Biomasse.

³ Aufgrund der gegenüber der konventionellen Bewirtschaftung lockereren Bodengare im ökologischen Landbau könnte der tatsächliche mechanische Einsatz jedoch geringer werden (Burdick 1998).

Alle Kulturen werden nach dem gleichen Schema analysiert. Einerseits werden Ansprüche (an Klima, Bodenverhältnisse, Fruchtfolge, Nährstoffversorgung und Unkrautregulierung) der Pflanzen gegenübergestellt und andererseits die entsprechenden Einflüsse auf den Standort und die Fruchtfolge charakterisiert.

Neben der im folgenden besprochenen Kultur (Kartoffeln) sind weitere, für eine Ethanolproduktion in Frage kommenden Kulturen (wie Körnermais und Winterweizen), ausgeklammert worden. Der Körnermais besitzt für den ökologischen Landbau keinerlei Vorzüge und stellt andererseits sehr hohe Ansprüche an Klima, Fruchtfolgestellung, Düngung und Unkrautregulierung. Bei dem Anbau von Getreide als Ganzpflanze bestehen, im Gegensatz zum Anbau von Winterweizen zur Ethanolerzeugung, erheblich mehr Variationsmöglichkeiten (Sortenwahl, Mischungen aus unterschiedlichen Sorten und Arten usw.) und in der weiteren Energieprozeßkette weniger Wirkungsgradverluste. Dies schließt jedoch nicht aus, daß in Zukunft eher flüssige oder - noch wahrscheinlicher - gasförmige Energieträger verstärkt nachgefragt werden, und diese Annahme eventuell überdacht werden muß.

Die Hauptreststoffe, die für eine energetische Nutzung zur Debatte stehen, sind Stroh und Biogas aus tierischen Exkrementen. Eine Verbrennung von Stroh wird unter der Prämisse des flächendeckend ökologischen Landbaus ausgeklammert⁴ (Lange 1998). Nach Aussagen einiger Experten bestehen trotz dieser Argumente auch im ökologischen Landbau Möglichkeiten der energetischen Nutzung von Stroh. Eindeutige Untersuchungen hierzu fehlen allerdings noch.

2.2.1 Biomasse als Festbrennstoff

Im folgenden werden Getreide, Miscanthus (sog. Elefantengras) sowie schnellwachsende Baumarten vorgestellt und bewertet. Es handelt sich dabei um eine zusammenfassende Betrachtung. Für weitere Details bezüglich der Ansprüche und Auswirkungen einzelner Kulturen sei auf andere Arbeiten (u.a. Lange 1998) verwiesen.

Getreide

Getreide eignet sich neben der bisher üblichen Nutzung des Korns auch für die thermische Verwertung. Die energetische Nutzung von Getreide weist grundsätzlich folgende Vorzüge auf:

- Ein geringer Feuchtegehalt der Pflanze ermöglicht die Lagerung und Verbrennung ohne besondere technische Anforderungen.
- Es liegen langjährige und standortspezifische Erfahrungen vor bezüglich der Saat, der Bestandesführung und der Ernte in der landwirtschaftlichen Praxis. Die Integration in die allgemeinen Betriebsstrukturen (Anforderungen an Arbeitskräftebesatz u.a.) und in

⁴ Geringes Strohaufkommen, Nährstoffverlust, Notwendigkeit des Einstreus bei artgerechter Tierhaltung

die ackerbaulichen Strukturen (Fruchtfolge u.a.) bedürfen keiner Neuorganisation des Betriebes, da Getreide bereits etabliert ist.

- Die langjährige züchterische Bearbeitung erreichte Verbesserungen im Bereich der Standortansprüche und Widerstandskraft gegen Krankheiten und Schädlinge.

Nicht alle Getreidearten können hier explizit diskutiert werden. Daher wird stellvertretend für die Halmfrüchte Triticale vorgestellt. Triticale ist eine neuere Züchtung als Kreuzung aus Roggen und Weizen. Er verbindet die Ertragshöhe und Qualität des Weizens mit der anspruchslosigkeit, Winterhärte und geringen Krankheitsanfälligkeit des Roggens.

Dementsprechend stellt er geringe Ansprüche an Klima (unempfindlich gegen Kälte), an den Boden (es eignen sich auch nicht weizenfähige Böden) und an die Stellung in der Fruchtfolge. Die Eingliederung von Triticale in Fruchtfolgesysteme ergibt sich in erster Linie aus den Stickstoffbedürfnissen der Pflanze (80-100 kg/ha), so daß eine Blattfrucht (Ackerbohnen, Erbsen usw.) als Vorfrucht sehr gut geeignet ist. Triticale ist in der Lage Mineralstoffe aus Bodenvorräten zu nutzen.

Der hohe Nährstoffentzug und die negative Humusbilanz, die sich aus der Abfuhr der gesamten Pflanze ergibt, ist negativ zu beurteilen. Zudem stellt der Anbau von Getreide keine Bereicherung ökologischer Anbausysteme dar. Positive Auswirkungen auf den Standort sind die unkrautunterdrückende Wirkung von Triticale und, wie bei allen Getreidearten, die geringe Erosionsgefahr.

Forschungsbedarf besteht insbesondere in der Pflanzenzüchtung, da für Getreide als Energiepflanze z.T. andere Qualitätskriterien gelten als für Getreide zu Nahrungszwecken (z.B. die Höhe des Rohproteingehaltes). In diesem Zusammenhang sind auch ethische Bedenken zu erwähnen. In Zeiten von Unterernährung und Hunger stellt es sich für manche als unverantwortlich dar, Lebensmittel zu verbrennen anstatt zur Hungerbekämpfung einzusetzen⁵.

Miscanthus sinensis

Miscanthus sinensis, auch Chinaschilf oder Elefantengras genannt, ist ein mehrjähriges Süßgras, daß ursprünglich in Ostasien beheimatet ist. Man geht davon aus, daß über 10-15 Jahre eine jährliche Ernte der oberirdischen Zellulosemasse erfolgen kann. Folgende Forschungsergebnisse aus Versuchen im konventionellen Landbau scheinen für eine energetische Nutzung zu sprechen:

⁵ Allerdings sind Hungerprobleme in der südlichen Hemisphäre nicht durch Getreideberge in Europa zu lösen. Adäquate Strategien müssen sich vornehmlich mit den Verhältnissen vor Ort und internationalen Zusammenhängen auseinandersetzen. Dieses komplexe Thema kann hier nicht entsprechend behandelt werden, jedoch ist der Autor der Meinung, daß ethische Argumente letztlich nicht stichhaltig sind (s.a. Karafyllis 1996).

- Aufgrund des C₄-Metabolismus⁶ ist sie bei entsprechender Sonneneinstrahlung zu hoher Stoffproduktion (auch in Trockenperioden) befähigt.
- Miscanthus ist eine sog. „low-input“-Pflanze, d.h. ein hohes Düngungsniveau ist nicht erforderlich.

Obgleich dem Praxisanbau Entwicklungsperspektiven eingeräumt werden (Pröpster 1994), ist die Etablierung und Pflege von Miscanthus bisher mit großen Unsicherheiten verbunden. Eines der Hauptprobleme in den Praxisversuchen ist die starke Auswinterung der Pflanzen, d.h. die Schädigung des Pflanzenbestandes infolge niedriger Temperaturen. Die Überwinterungsfähigkeit und Ertragsleistung wird neben anderen Faktoren sehr stark von der Niederschlagsverteilung und der Wasserversorgung bestimmt.

Der Anspruch an den Boden ist im engen Zusammenhang mit der Wasserversorgung der Pflanzen zu sehen. Das Wasserspeichervermögen des Bodens ist von besonderer Bedeutung für eine zufriedenstellende Ertragsleistung.

Über Wechselwirkungen mit anderen Kulturen, sowie eine besondere Krankheitsanfälligkeit bzw. Krankheitsresistenz bei einer Kultivierung über einen Zeitraum von maximal 15 Jahren liegen noch keine Erkenntnisse vor. Als problematisch hat sich bislang eine übermäßige Etablierung von Beikräutern in Bestandeslücken im Falle von Auswinterungsschäden erwiesen. Versuche mit Untersaaten (z.B. Senf, Phacelia) zur Unkrautregulierung blieben bisher erfolglos.

Zu Wirkungen organischer Dünger auf Miscanthusbestände liegen bisher keine Erkenntnisse vor. Das Erntegut enthält sehr geringe Werte der Hauptnährstoffe Stickstoff, Phosphor und Kalium, was auf einen geringen Bedarf bzw. Entzug dieser Nährstoffe durch die Pflanze aus dem Boden hinweist.

Über Einflüsse von Miscanthusbeständen auf den Standort liegen nur Zwischenergebnisse aus 3-4-jährigen Beständen vor. Positiv zu vermerken ist die ausgedehnte und tiefreichende Durchwurzelung der Miscanthuspflanzen. Negativ ist wie bei allen Reihenkulturen mit spätem Bestandesschluß die Erosionsgefahr.

Zusammenfassend läßt sich sagen, daß noch erheblicher Forschungsbedarf bezüglich verschiedener Aspekte besteht. Noch ist nicht ausreichend bekannt, inwieweit der Anbau dieser Pflanze unter den hiesigen Klima- und Standortbedingungen langfristig befriedigende Biomasseerträge liefern kann. Darüber hinaus muß eine an die Ansprüche der Pflanze abgestimmte Produktionstechnik entwickelt werden. Vor allem aber ist über eventuelle Auswirkungen auf das Ökosystem bisher wenig bekannt. Von Praxisversuchen unter den Bedingungen des ökologischen Anbaus liegen keinerlei Informationen vor.

⁶ Dieser Metabolismus ist typisch für Pflanzen aus tropischen Regionen. Aufgrund der hohen Sonneneinstrahlung in diesen Regionen schließen sich die Spaltöffnungen weitestgehend, der CO₂-Partialdruck sinkt somit. Mittels spezieller Enzyme, die in gemäßigten Breiten nicht in Pflanzen vorkommen, können C₄-Pflanzen trotzdem CO₂ aufnehmen und in Kohlenhydrate umwandeln. Vereinfacht gesprochen stehen damit mehrere Mechanismen zum Pflanzenwachstum zur Verfügung.

Schnellwachsende Baumarten

Bei dieser Form der Holzproduktion handelt es sich um den Anbau schnellwachsender Baumarten. Das Pflanzenmaterial für Kurzumtriebsplantagen muß grundsätzlich folgende Voraussetzungen erfüllen (Dimitri 1988):

- sicheres Anwuchsverhalten
- Raschwüchsigkeit in der Jugendphase
- gutes Stockausschlagvermögen nach der Beerntung
- gute Widerstandskraft gegen biotische und abiotische Gefahren

Nach den vorliegenden Erfahrungen kommen für die Bewirtschaftung im Kurzumtrieb vorwiegend Pappel und Weide in Betracht, wobei insbesondere die Schwarzpappel, die Balsampappel und die Aspe in der Diskussion sind. Die Produktionszeiträume bewegen sich je nach Baumart zwischen 2 und 20 Jahren.

Vorteile der Nutzung von Holz aus dem Kurzumtrieb sind einerseits die hohen zu erwartenden Flächenerträge und potentielle Ertragssteigerungen durch entsprechende Züchtungsfortschritte sowie andererseits das günstige Verhältnis von Energieinput zu -output.

Die Ansprüche der Energiewaldbaumarten an das Klima sind nicht sehr spezifisch. Pappeln und Weide kommen beide in gemäßigten Klimazonen vor. Bei der Wahl einer Sorte für den Kurzumtrieb sollte die unterschiedliche Vegetationsdauer der einzelnen Arten Berücksichtigung finden.

Die Anforderungen der einzelnen Arten an den Boden sind sehr unterschiedlich. Nach Angaben des Forschungsinstituts für Schnellwachsende Baumarten (1996) sind auch relativ schlechte Ackerstandorte (Bodenwertzahlen ab 30) für den Anbau von schnellwachsenden Baumarten geeignet.

Da die genetische Vielfalt von Energiewäldern gegenüber Wildpopulationen stark verringert ist bedürfen sie einer besonderen Prüfung, was ihre Anfälligkeit gegenüber Krankheiten und Schädlingen angeht. Bisher wurden jedoch keine besorgniserregenden Schadpopulationen festgestellt. Die sich im Bestand entwickelnde Begleitflora kann zwar durch eine mechanische Unkrautregulierung (Hackrahmen, Mulchgeräte) bekämpft werden, aber aus ökosystemarer Sicht ist dies eher kontraproduktiv. Die Einflüsse auf den Standort können bislang nicht bestimmt werden, da Erfahrungen nicht vorliegen.

Dies ist auch der Grund, daß aus ökologischer Sicht hinsichtlich dieser Form der Energieträgerproduktion, welche eine Mischung aus landwirtschaftlichem und forstwirtschaftlichem Anbau darstellt, keine umfassende und abschließende Beurteilung vorgenommen werden kann.

Die Integration einer vorsichtigen (!) Nutzung schnellwachsender Baumarten in Hecken zur Biotopvernetzung und Landschaftstrukturierung könnte eventuell positiv zu bewerten sein. Allerdings sind auch hier noch eine Reihe von Fragen zu klären, beispielsweise inwiefern die Tierwelt gestört würde oder in welchem Maße ein mechanischer und in der

Praxis wahrscheinlich rigoroser Schnitt den eigentlichen Zielen von Hecken nicht widerspräche (Beste 1998).

2.2.2 Biomasse zur Bereitstellung flüssiger Energieträger

In diesem Abschnitt werden Raps, Sonnenblumen, Lein und Kartoffeln als mögliche Pflanzen zur Konversion in flüssige Energieträger untersucht. Für die ersten drei genannten Kulturen wird eine Umwandlung in Öl unterstellt, für die Kartoffeln in Ethanol.

Raps

Die folgenden Ausführungen beziehen sich lediglich auf den Winterraps, da dieser gegenüber Sommerraps höhere Ertragserwartung besitzt. Der Rapsanbau weist folgende positive Eigenschaften auf:

- Der Anbau und die Pflege bzw. Ernte von Raps bedarf lediglich herkömmlicher Technik.
- Für einen landwirtschaftlichen Betrieb ist die zweifache Nutzungsmöglichkeit der Rapssaat positiv zu beurteilen. Neben der Körnernutzung zur Ölerzeugung stellt der abgepreßte Rapskuchen ein wertvolles Eiweißfuttermittel dar.

Ertragshöhe und -sicherheit werden beim Raps im wesentlichen von den Klima- und Witterungsbedingungen bestimmt. Zur Zeit des Hauptwachstums bevorzugt der Raps ein kühl-gemäßigtes d.h. maritim beeinflusstes Klima. Besonders während der Phase des Schossens und in der Blütenentwicklung ist der Raps auf eine ausreichende Wasserversorgung angewiesen. Zudem ist Raps gegenüber langanhaltenden, tiefen Temperaturen empfindlich. Diese und andere Aspekte zeigen, daß Raps hohe Ansprüche an das Klima stellt.

Hingegen treten die Bodenansprüche des Rapses hinter die Klimaanforderungen zurück. Prinzipiell ist sein Anbau auf fast allen Böden möglich, allerdings kann das Ertragsniveau stark schwanken. Vor allem Standorte mit der Gefahr von Staunässe oder mit erhöhtem Steinreichtum sollten vermieden werden.

Die Eingliederung von Raps in die Fruchtfolge ist trotzdem recht anspruchsvoll. Raps ist mit sich selbst unverträglich und sollte folglich einen nicht zu hohen Anteil in der Fruchtfolge einnehmen (empfohlen werden sogar im konventionellen Landbau nicht mehr als 25%). Der Anbauabstand von Raps zu Raps, aber auch zu anderen Kreuzblütlern (alle Kohlsorten), zu Sonnenblumen und Sojabohnen sowie Zuckerrüben sollte mindestens drei bis fünf Jahre betragen. Unabhängig von der Fruchtfolgegestaltung auf einem Standort kann auch die generelle Anbaudichte von Raps in einer Region zu einer erhöhten Krankheitsanfälligkeit und damit zu einer Anbauunsicherheit führen (Lange 1998, Haberlach 1997; Cramer 1990). Zusätzlich ist er Wirtspflanze für Rübennematoden und trägt leicht zu einer Verbreitung von Pilzkrankheiten und Schädlingen bei. Seine geringe phytosanitäre Wirkung wird daher negativ beurteilt.

Die Winterrapspflanze hat einen hohen Nährstoffbedarf. Daher ist es von Vorteil, Vorfrüchte anzubauen, die Stickstoff im Boden hinterlassen wie Klee Grasgemenge oder Luzerne. Aufgrund der langen Vegetationsperiode des Rapses ist zudem die Beikrautregulierung problematisch. Ein weitere Schwierigkeit besteht im Durchwuchs des Rapses in der Folgekultur und auch noch in darauffolgenden Kulturen (Schmidtke 1997).

Die Einflüsse des Rapses auf den Standort sind überwiegend positiv. Raps ist eine sehr gute Vorfrucht und fördert durch die langanhaltende Beschattung die Bodengare. Die zusätzlich tiefreichende und gute Durchwurzelung vermindert die Gefahr von Bodenerosion. Durst et al. (1988) wiesen außerdem nach, daß der Raps die Regenwurmaktivität fördert. Die Gefahr von Bodenverdichtung ist ebenfalls als gering einzustufen (BMELF 1995). Die Humuszehrung ist gering bis neutral.

Forschungsbedarf besteht zum einen ähnlich wie bei Getreide in der Entwicklung von Sorten, die sich optimal in Fruchtfolgen des ökologischen Landbaus integrieren lassen und zum anderen in der Entwicklung von Produktionstechniken, die an eine Kultivierung von Raps in ökologischen Anbausystemen angepaßt ist.

Sonnenblumen

Die Sonnenblume ist ursprünglich in Nordamerika beheimatet und stellt heute die nach der Sojabohne wichtigste Ölpflanze der Welt dar. Die Körner der Sonnenblumen besitzen nach Züchtungserfolgen in jüngerer Zeit einen hohen Fettgehalt von 40 bis 50 % (entspricht Raps) und ist damit für eine energetische Nutzung interessant geworden. Zudem haben die Pressrückstände einen hohen Eiweißgehalt und damit einen hohen Futterwert.

Die Sonnenblume stellt während ihrer Hauptwachstumsphase (Juli/August) und der Abreife (August/September) hohe Ansprüche an die Temperatur und die Sonneneinstrahlung. Sonnenblumen gedeihen gut in Gebieten, in denen Körnermaissorten mit FAO-Werten⁷ von 280 bis 300 sicher ausreifen (Herrmann 1991). Aufgrund der hohen Bildung oberirdischer Grünmasse ist der Wasserbedarf der Sonnenblume im Verlauf der Vegetation relativ hoch.

Die Ansprüche der Sonnenblume an den Boden leiten sich aus den Eigenschaften ihres Wurzelsystems und ihrem Wasserbedarf ab. Sie hat ein sehr gut entwickeltes Wurzelwerk, daß ihr in tiefgründigen Böden ohne Verdichtungen ein enormes Wasser- und auch Nährstoffaneignungsvermögen verleiht. Der Boden sollte daher über eine gut entwickelte Wasserspeicherkapazität bzw. auch ein stetiges Wassernachlieferungsvermögen verfügen.

Bei einer Eingliederung in die Fruchtfolge ist darauf zu achten, daß die Sonnenblume nicht mit sich selbst verträglich ist und Anbauintervalle zwischen ihr und Raps, Sojabohnen und Feldgemüse von 5-6 Jahren eingehalten werden sollten. Die Sonnenblume besitzt ein sehr gutes Mineralstoffaneignungsvermögen und kann deshalb Nährstoffe aus organischen

⁷ Die FAO-Werte sind international gültige Maßzahlen für die Reifezeit der verschiedenen Maissorten. Das Weltsortiment umfaßt die FAO-Zahlen von 100 (früh) bis 900 (sehr spät) (Oehmichen 1986).

Düngern sehr gut verwerten. Desweiteren haben Sonnenblumen einen sehr hohen Kaliumbedarf.

Sonnenblumen haben einen überwiegend positiven Einfluß auf den Standort. Sie durchlüften aufgrund ihres intensiven Wurzelapparates den Boden und lockern ihn. Da die Sonnenblume nach dem Drusch eine große Menge leicht verrottbarer organischer Substanz hinterläßt, hat sie einen positiven Einfluß auf die Humusbilanz. Ein Teil der Nährstoffe, insbesondere Kalium, gelangen so zurück in den Boden. Aufgrund des hohen Nährstoffaneignungsvermögens und des Verbleibens von Ernterückständen auf dem Acker eignet sich die Sonnenblume gut für eine Kultivierung im ökologischen Landbau.

Negativ zu beurteilen sind hingegen Durchwuchsprobleme und die Gefahr, daß nach kräftigen Beständen die Bodenwasser und -stickstoffvorräte erschöpft sein können.

Öllein

Der Lein ist eine der ältesten Kulturpflanzen in Mitteleuropa. Er eignet sich je nach Sorte zur Faser-, zur Öl- oder zu einer kombinierten Faser-/Ölnutzung. Speziell der Öllein ist eine Sommerleinform mit sehr kurzer Vegetationszeit (ca. 120 Tage). Er hat, im Vergleich zu anderen Kulturen, unspezifische Klimaansprüche und ermöglicht daher eine Kultivierung an verschiedensten Standorten. Beim Anbau von Öllein ist der Wasserverbrauch im Vergleich zu anderen Leinarten vergleichsweise gering und weist damit Vorteile auf bei der Kultivierung in kontinentalen Klimazonen.

Der Wasserhaushalt des Standortes bestimmt in erster Linie die Bodenansprüche des Leins, da er in der Lage ist, diese den jeweiligen Verhältnissen anzupassen. Aufgrund der Fähigkeit des Leins, eine Pfahlwurzel auszubilden, kann er auf tiefgründigen Böden seinen Wasserbedarf aus tiefer liegenden Wasservorräten decken. Generell sind tiefgründige Böden mit hohem Wasserhaltevermögen für den Leinanbau am besten geeignet.

Bei einer Eingliederung von Lein in die betriebliche Fruchtfolge muß beachtet werden, daß Lein in hohem Maße mit sich selbst unverträglich ist und ein Anbauabstand von mindestens 5-7 Jahren eingehalten wird.

Ein Vorteil des Leins besteht darin, daß er wie Hafer eine Gesundungsfrucht gegenüber anderen Kulturen und keine Wirtspflanze für weit verbreitete Krankheiten im Getreide- oder Hackfruchtanbau ist. Lein hat einen geringen Nährstoffbedarf und ist durch sein ausgeprägtes Wurzelsystem in der Lage, auch schwer verfügbare Nährstoffe aus tieferen Bodenschichten aufzuschließen (Herrmann 1991).

Öllein weist sehr günstige Einflüsse auf seinen Standort auf. Die Leinpflanze durchwurzelt den Boden sehr intensiv und dicht und hat daher einen positiven Einfluß auf die Aktivität des Bodenlebens sowie die Bodenstruktur. Nach Aussagen des BMELF (1993) ist das Risiko der Bodenverdichtung sowie auch das Risiko der Bodenerosion beim Anbau von Öllein auf sandigen Lehmen bis lehmigen Sanden als gering einzustufen.

Desweiteren verfügt der Öllein über einen sehr guten Vorfruchtwert. Er bedeckt den Boden nach Bestandesschluß und hinterläßt den Acker deshalb nahezu unkrautfrei. Sehr positiv zu beurteilen ist die Auflockerung und Bereicherung der Fruchtfolge. Zudem würde die Integration von Lein in die Fruchtfolge zu einer Schaffung bzw. Wiederansiedlung verschwundener Agrarökosysteme führen und generell das Landschaftsbild bereichern (BMELF 1993).

Im ökologischen Landbau wurde der Öllein aufgrund dieser positiven Eigenschaften auf das Ökosystem sowie seiner vielfältigen Nutzungsformen bereits „wiederentdeckt“. Er bietet die Möglichkeit, die eingeschränkte Arten- und Genvielfalt unserer Agrarökosysteme sinnvoll zu erweitern, eignet sich hervorragend für extensive Wirtschaftsweisen und weisr eine breite Produkt- und Vermarktungspalette (wie Textilien, Kosmetika, Nahrungsmittel) auf.

Der kurzfristigen Umsetzung stehen jedoch erhebliche Probleme in der Praxis gegenüber. Im Bereich der Ernte- und Aufbereitungstechnik besteht noch Forschungs- und Entwicklungsbedarf und auch im zuletzt angesprochenen Bereich zusätzlicher Produktlinien müssen die Produktions- und Verarbeitungstechniken noch weiterentwickelt werden.

Stärkekartoffeln

Die Erzeugung von Kartoffeln ist neben Getreide aufgrund der guten Marktsituation von Speisekartoffeln eines der wichtigsten Standbeine von ökologisch wirtschaftenden Betrieben. Somit liegen in der landwirtschaftlichen Praxis detaillierte Kenntnisse und Erfahrungen bezüglich des Anbaus der Kartoffel und ihrer spezifischen Ansprüche vor. Zum Anbau von Kartoffeln zur Stärkeerzeugung sind spätreife Sorten am besten geeignet, da sie mehr Stärke einlagern als frühreife Sorten.

Aufgrund ihrer Sortenvarianz und Herkunft ist die Kartoffel generell sehr anpassungsfähig an das Klima, was ihre außerordentlich weite Verbreitung beweist. Während der Vegetation findet sie innerhalb relativ weiter Temperaturbereiche geeignete Wachstumsbedingungen, und auch die Ansprüche an die Wasserversorgung sind eher gering (Lange 1998).

Auch die Ansprüche an den Bodentyp sind als gering einzustufen. Je nach der Wahl des Standorts ist eine spezifisch angepaßte Produktionstechnik zu wählen, um eventuelle Nachteile eines Bodens durch einen guten Kulturzustand ausgleichen zu können.

Ein mehrjähriger Anbau der Kartoffel am selben Standort sollte vermieden werden, auch wenn sie sich auf einigen Standorten als selbstverträglich erwiesen hat. Die Gefahr, daß bodenübertragbare Schädling (z.B. Kartoffelkäfer) und Krankheiten (Kartoffelkrebs, -schorf, Kraut- und Knollenfäule) die Gesundheit des Bestandes beeinträchtigen, ist zu groß. Daher ist auch im Anbau von der Kartoffel als Energieträgern zu beachten, daß eine Anbaupause von vier bis fünf Jahren eingehalten werden sollte. Sehr gute Vorfrüchte für die Kartoffel sind ein- oder zweijähriger Futterbau oder aber auch eine Winterzwischenfrucht wie Landsberger Gemenge oder Wickroggen. Sie hinterlassen ausreichend organische Masse im Boden und durchwurzeln ihn hervorragend.

Eine gute Nährstoffversorgung gewährleistet gut verrotteter Mist oder Kompost und auch eine Gründüngung, wenn sie rechtzeitig und gut eingearbeitet worden ist. Besonderer Aufmerksamkeit ist im Kartoffelanbau der Unkrautregulierung zu schenken, welche mit den herkömmlichen Geräten wie Egge oder Striegel realisierbar ist. Im ökologischen Kartoffelanbau wird z. T. versucht, Untersaaten zur Unkrautunterdrückung zu etablieren (z.B. Ackerbohnen).

Positive Auswirkungen auf den Standort bestehen in erster Linie darin, daß die Kartoffel eine hohe Durchwurzelungsintensität des Oberbodens aufweist und bei Nährstoffausgleich indirekt zu einer guten Vorfrucht wird, da sie durch die häufige mechanische Bodenbearbeitung einen lockeren, unkrautfreien Acker hinterläßt. Auch die Beschattung des Bodens durch die Kartoffelpflanze wirkt im Hinblick auf die Beikrautregulierung positiv.

Negativ zu beurteilen ist die humuszehrende Wirkung des Kartoffelanbaus bedingt durch wenig Ernterückstände und verstärkten Abbau der organischen Substanz. Zudem birgt sie als Reihenfrucht insbesondere in der relativ langen Zeit bis zum Bestandesschluß die Gefahr von Bodenerosion. Bei falscher Bearbeitung oder der Ernte bei ungünstiger Witterung besteht die Gefahr von Bodenverdichtung.

2.2.3 Biogas

Gasförmige Brennstoffe bieten eine Reihe von Vorteilen gegenüber Festbrennstoffen. Sie sind effizienter und mit geringeren Emissionen zu verbrennen, leichter handhabbar und vielseitig einsetzbar. Die Nutzungsmöglichkeiten reichen von Gasbrennern über die Kraft-Wärme-Kopplung bis zu Wärmepumpen oder Brennstoffzellen. Biogene Gase können damit in allen Bereichen Erdgas substituieren.

Die Umwandlung von Biomasse in ein brennbares Gas kann auf zwei Arten erfolgen: biochemisch durch die Methangärung (wird in Kapitel 3 analysiert) oder thermisch durch Pyrolyse oder Vergasung.

Im thermischen Vergasungsprozeß wird bei hohen Temperaturen die eingesetzte feste Biomasse zersetzt. Ein sogenanntes Vergasungsmittel, in der Regel Luft, wird in unterstöchiometrischer Dosierung⁸ hinzugefügt. Die erforderliche Temperatur wird entweder durch Wärmezufuhr von außen erreicht (allotherme Vergasung) oder durch den Prozeß selbst (autotherme Vergasung). Die dabei entstehenden Produkte können je nach Prozeß sehr unterschiedliche Eigenschaften besitzen: Vom sog. Schwachgas, welches eine Mischung aus CO, CO₂, H₂, CH₄ und N₂ darstellt und niederkalorisch ist (ca. 5 MJ/m³) bis zum hochkalorischen und reinen Wasserstoff (10-13 MJ/m³). Diese Art der Umwandlung fester Biomasse soll hier aber nicht weiter betrachtet werden, da sie im Rahmen der Zielstellung dieser Untersuchung keinen Erkenntnisgewinn bringt. Damit ist jedoch keineswegs eine Beurteilung der thermischen Vergasungstechnologie verbunden.

⁸ Die Luftzahl Lambda ist kleiner als 1, d.h. es wird weniger Luft hinzugefügt als eigentlich für eine vollständige Vergasung notwendig wäre.

Bei der biochemischen Umsetzung von tierischen Exkrementen wie Gülle entsteht ein Gasgemisch, das als Biogas bezeichnet wird. Hauptbestandteile sind Methan (55-70%), Kohlendioxid (29-43%) sowie geringe Mengen an Wasserstoff, Schwefelwasserstoff und Ammoniak. Die drei zuletzt genannten Komponenten sind störend bzw. schädlich und sollten daher nur in möglichst geringen Mengen enthalten sein. Ein hoher Wassergehalt erhöht die Korrosionsgefahr, vermindert den Heizwert des Biogases, erhöht die Druckverluste in den Leitungen der Anlage und verursacht generell dort Wirkungsgradverluste, wo das Temperaturniveau des Gases gesenkt oder das Druckniveau erhöht wird (BMELF 1995). Eine Entschwefelung des Gases ist erforderlich, da der Schwefelwasserstoff (Anteil 2 bis 5 %) eine sehr korrosive Verbindung ist. Die günstigste Methode besteht im Einblasen von Luft. Dabei entsteht elementarer Schwefel, der gesondert abgeführt und genutzt werden kann.

Bei dem Umwandlungsprozeß wirken sich Faktoren wie Luft- und Lichtabschluß, Faultemperatur, Mischintensität, Nährstoffe, pH-Wert und Hemmstoffe (Antibiotika, Pestizide, Desinfektionsmittel etc.) auf die Gasausbeute aus. Hemmstoffe jedoch treten im ökologischen Landbau bzw. in der artgerechten Tierhaltung höchstens in Ausnahmefällen auf. Daher sind gegenüber der konventionellen Tierhaltung höhere Gasausbeuten zu verzeichnen.

Es stehen heute eine Reihe von Verfahren zur Verfügung, wobei noch erhebliche Effizienzgewinne in der Umwandlung zu erwarten sind. Soll diese Form der Energiebereitstellung in Zukunft eine größere Bedeutung erlangen, ist jedoch besonders auf biologisch bewirtschafteten Betrieben noch weiterer Entwicklungsaufwand vonnöten. Generell müssen beim Bau von Biogasanlagen stärker betriebsspezifische Gegebenheiten berücksichtigt werden (Lange 1998). Beispielsweise wurden bisher die Anlagen in erster Linie für eine Vergärung von Flüssigmist anstatt mit dem im ökologischen Landbau typischeren Festmist konzipiert. Neue Haltungssysteme mit geringerem Strohbedarf und einem dünnflüssigeren Mist (Tretmiststall-Systeme, Boxenlaufställe) bieten hier eventuell eine Lösung (Köpke 1994). Auch sind Mischverfahren aus thermischer und biochemischer Umwandlung denkbar.

Zudem bleiben noch im Hinblick auf den nach der Methanogasung verbleibenden Faulschlamm Fragen zu klären (bspw. zur möglichen Veränderung der Düngewirkung). Nach van den Weghe (1996) kann je nach Prozeßtemperatur oder Lagerungsdauer/-art eine Hygienisierung des Faulschlammes eintreten. Unkrautsamen, aber auch Keime, Bakterien und Schädlinge werden eventuell eliminiert.

Auch unter Beachtung dieser Restriktionen besteht im ökologischen Landbau die Möglichkeit, auf landwirtschaftlichen Betrieben i.d.R. anfallende Reststoffe energetisch zu nutzen, was zudem den Grundgedanken des ökologischen Landbaus nicht widerspricht (wie Nährstoffkreislauf oder der rationellen Verwendung von Energie). Zudem lassen sich die Ausnutzungsgrade von Vergasungsanlagen im Zuge der Kofermentation, d.h. der Einbeziehung von Siedlungsabfällen beispielsweise über die Biotonne, deutlich erhöhen. Damit entfielen bei geeigneter Logistik auch das Problem der mangelnden gleichmäßigen Verfügbarkeit von zu vergasenden Reststoffen.

2.2.4 Zusammenfassende Beurteilung der Energieträger

In der folgenden Tabelle sind die zuvor im einzelnen behandelten Pflanzen in ihrer Gesamtbewertung miteinander verglichen.

Tab. 1: Zusammenfassende Bewertung möglicher Energieträger

Frucht	Anspruch an Klima/Witterung	Anspruch an den Boden	Anspruch an die Fruchtfolge	Anspruch an Nährstoffversorgung/Unkrautregulierung	Einfluß auf den Standort
Getreide	gering (unempfindlich gg. Kälte)	gering	flexibel einzugliedern (wenig krankheitsanfällig)	mittel (nur Mineralstoffe aus dem Boden)	mittel (keine Fruchtfolgenerweiterung, hoher Nährstoffentzug)
Miscanthus Sinensis	hoch (empfindlich gg. Kälte)	mittel (Wasserspeicherfähigkeit)	schwierig einzugliedern	unzureichende Kenntnisse	unzureichende Kenntnisse
Kurzumtrieb	gering	gering - hoch (sortenabhängig)	schwierig einzugliedern	unzureichende Kenntnisse	unzureichende Kenntnisse (im Rahmen von Biotopvernetzung evtl. positiv)
Raps	hoch (Auswinterungsgefahr)	mittel (gute Durchwurzelbarkeit)	hoch (große Anbaupausen, krankheitsanfällig)	hoch (hoher Bedarf, schwierige Unkrautregulierung)	mittel (gute Vorfrucht und Durchwurzelung, schlechte phytosanitäre Eigenschaften)
Sonnenblumen	hoch (hoher Wasserbedarf, hohe Temperatur.)	mittel (gute Durchwurzelbarkeit)	hoch (hoher Anbauabstand)	mittel (gutes Mineralstoffaneignungsvermögen)	positiv (gute Vorfrucht und Durchwurzelung)
Öllein	mittel	gering	flexibel einzugliedern (Gesundungsfrucht, wenig N-Bedarf)	gering	positiv (gute Durchwurzelung, Erweiterung der Fruchtfolge)
Kartoffeln	mittel (nicht frostresistent)	gering (hoher Anspruch an Bodenbearbeitung)	mittel (Einschränkung durch Krankheiten)	mittel (hoher Nährstoffbedarf, gutes Aufschlußvermögen)	mittel (gute Vorfrucht, Gefahr der Bodenverdichtung und Erosion)
Mais	hoch	hoch	hoch	hoch	mittel - negativ

Zusammenfassend ist festzuhalten, daß insbesondere der Öllein sehr positiv zu bewerten ist, da die Ansprüche überwiegend gering und die Einflüsse auf den Standort positiv zu bewerten sind. Sonnenblumen weisen wie der Öllein sehr gute Einflüsse auf den Standort auf, besitzen allerdings hohe Ansprüche an Klima und Standort. Kartoffeln und Getreide (hier: Triticale) werden mittelmäßig beurteilt, wobei Getreide geringere Ansprüche aufweist als die Kartoffel. Raps und vor allem Mais - der Übersicht halber noch hinzugefügt - bilden das Schlußlicht der untersuchten Früchte. Insbesondere Mais wird daher aus der weiteren Betrachtung ausgeklammert.

Für die Dauerkulturen Miscanthus und Kurzumtrieb können aufgrund der unzureichenden Kenntnisse noch keine abschließenden Beurteilungen vorgenommen werden.

2.3 Möglichkeiten der Integration von Energiepflanzen in ökologische Anbausysteme

Aufbauend auf den Fruchtfolgegrundsätzen, die bereits in Abschnitt 2.1 vorgestellt wurden, und den zuvor beschriebenen Charakteristika soll anhand einiger Musterfruchtfolgen exemplarisch gezeigt werden, an welcher Stelle der Fruchtfolge eine Integration der diskutierten Kulturen möglich wäre. Die Erstellung einer Fruchtfolge bzw. die Erweiterung um bestimmte Fruchtfolgeglieder ist den standortspezifischen Gegebenheiten anzupassen und kann damit nicht unbedingt direkt übernommen werden.

Für den Anbau von Miscanthus und schnellwachsenden Baumarten eignen sich Flächen, die langfristig aus der Nutzung für die Nahrungsmittelproduktion genommen werden sollen⁹. Bei schnellwachsenden Baumarten könnten zudem Randflächen zur Biotopvernetzung genutzt werden. Aus diesen Gründen werden diese beiden Kulturen hier ausgeklammert.

Da ökologische Betriebe in der Regel Gemischtbetriebe sind, also gleichzeitig Ackerbau und Viehwirtschaft betreiben, werden ausschließlich Fruchtfolgen vorgestellt, die für Betriebe mit Viehhaltung konzipiert sind. Folgender Fruchtfolgegrundriß kann im ökologischen Landbau zugrunde gelegt werden (Piorr 1997):

Feldfutter (1-3 Jahre) - Wintergetreide/Hackfrucht/Winterraps - Sonnenblumen/Lein/Sommergetreide - Leguminosen - Hackfrucht - Getreide

Generell ist zu sagen, daß Leguminosen oder Grünbrachen als Vorfrüchte für ölhaltige Energiepflanzen vermieden werden sollten, da große Mengen an Stickstoff im Boden der Ölsynthese abträglich sind.

Die Integration von Triticale in die Fruchtfolge

Triticale kann generell an Stelle der sonst angebauten Wintergetreidearten zum Einsatz kommen. Ein Ersatz von Winterweizen ist allerdings in den meisten Fällen nicht optimal, da Triticale bezüglich seiner Nährstoff- und Fruchtfolgeansprüche hinter denen von Winterweizen zurückbleibt und so der Anbau von Triticale besser später in der Fruchtfolge erfolgt. Eine 6-gliedrige Fruchtfolge könnte folgendermaßen aussehen:

Klee gras - Klee gras - Winterweizen (Untersaat: Weißklee) - Hafer/Körner - Leguminosen (Zwischenfrucht: Gemenge) - Kartoffeln/Futtermüsen - Triticale

Die Integration von Raps in die Fruchtfolge

⁹ sog. Stilllegungsflächen

Bei Raps muß darauf geachtet werden, daß der Anteil der Cruciferen nicht 25 % an der gesamten Fruchtfolge überschreitet. Ein Anbau von Raps und Sonnenblumen in einer Fruchtfolge ist aus phytosanitären Gründen (Gefahr der Verbreitung von Rapskrebs) zu vermeiden.

Raps wird bevorzugt nach einem Feldfutterbau wie Klee gras oder Luzerne angebaut, da diese Vorfrüchte seinen hohen Nährstoffbedarf decken können. Der Umbruch des Feldfutters muß zeitig erfolgen, damit die Einsaat des Raps erfolgen kann. Folgende Fruchtfolge ist möglich:

Klee gras oder Luzerne (1-3 Jahre) - Winterraps - Getreide (bspw. Winterweizen) - Leguminosen (bspw. Lupine, Erbse) - Kartoffeln - Winterroggen (Untersaat: Klee gras/Luzerne)

Die Integration von Sonnenblumen

Da Sonnenblumen keine hohen Ansprüche an die Nährstoffversorgung stellen, eignen sie sich gut als Folgefrucht für Hackfrüchte oder Getreide. Im Falle einer Zugabe von Stallmist ist zu beachten, daß dieser gut umgesetzt bereits zur Vorfrucht gegeben wird. Im folgenden werden 2 Beispielfruchtfolgen vorgestellt:

Klee gras oder Luzerne (1-3 Jahre) - Kartoffeln - Sonnenblumen - Leguminosen - Sommergetreide

Klee gras oder Luzerne (1-3 Jahre) - Winterweizen - Sonnenblumen - Leguminosen - Kartoffeln - Wintergetreide

Die Integration von Öllein

Öllein nimmt eine vergleichbare Stellung in der Fruchtfolge ein wie Sonnenblumen. Er benötigt ebenfalls nicht viel Stickstoff und eignet sich daher gut als Nachfrucht für Wintergetreide oder Winterraps. Da sich ein unkrautfreier Acker positiv auf den Lein auswirkt, ist auch eine Hackfrucht als Vorfrucht gut geeignet. Eine mögliche Fruchtfolge könnte sein (Piorr 1997):

Klee gras oder Luzerne (1-3 Jahre) - Wintergetreide/Winterraps/Kartoffeln - Lein - Leguminosen - Kartoffeln - Winterroggen

Die Integration von Kartoffeln

Bei der Integration von Stärkekartoffeln ist zu beachten, daß für diesen Produktionsweg in erster Linie mittel- bis spätreife Kartoffeln in Frage kommen. Werden Kartoffeln nach Feldfutter angebaut, ist es ratsam den Umbruch des Ackerfutters erst im Frühjahr vorzunehmen oder eine Winterzwischenfrucht wie bspw. Senf anzubauen, um die Gefahr der Stickstoffverlagerung aus dem Oberboden in Unterboden und Grundwasser zu vermeiden (Lange 1998).

Aus den bereits vorgestellten Fruchtfolgen wird ersichtlich, daß die Kartoffel ein häufig anzutreffender Bestandteil ökologischer Fruchtfolgesysteme ist.

3 Potentiale der Energieträgerbereitstellung

In dem vorangegangenen Abschnitt wurde erläutert, in welchem Rahmen Energieträger innerhalb des ökologischen Landbaus erzeugt werden könnten. Im folgenden soll nun ermittelt werden, welche Energieträgerpotentiale sich daraus ergeben könnten. Die mittel- und langfristige Entwicklung des Sektors Landwirtschaft ist von vielen Faktoren abhängig und somit heute nur begrenzt voraussagbar. Da hier ein langfristiger Zeitraum betrachtet wird (bis 2050), müssen diese Unsicherheiten in die Untersuchung integriert werden. Somit kann das Energieträgerpotential nicht über einen einfachen Zusammenhang (z.B. heutige Produktivität des ökologischen Landbau erlaubt x Tonnen Biomasse pro Jahr) ermittelt werden¹⁰.

Beispielsweise ist damit zu rechnen, daß sich in den nächsten 50 Jahren die Produktivität des ökologischen Landbaus wie auch die Ernährungsgewohnheiten der Bevölkerung verändern werden. Da es sich also bei den Berechnungsvariablen nicht um statische Größen handelt, werden mit Hilfe von systematischen Zukunftsanalysen und der Anwendung der Szenario-technik Ergebnisse unter verschiedenen Annahmen errechnet.

3.1 Methodik der Potentialbestimmung

Bei einer systematischen Zukunftsanalyse wird das Ziel verfolgt, „weit in die Zukunft reichende Entwicklungen hinsichtlich ihrer Gestaltungs- und Beeinflussungsmöglichkeiten zu analysieren, um Rückschlüsse auf die heute zu treffenden Entscheidungen zu ziehen“ (Enquete 1995: S. 750). Unter Berücksichtigung der vielfältigen Unsicherheiten werden mögliche zukünftige Entwicklungen analysiert. Daraus lassen sich zunächst Handlungsspielräume aufzeigen und im Anschluß daran Handlungsnotwendigkeiten ableiten.

Ein Beispiel mag dieses verdeutlichen: Sollte sich unter allen Basisannahmen ergeben, daß in Deutschland auch im Jahre 2050 keine Biomassepotentiale vorhanden wären, müßte heute entschieden werden, nicht weiter in diese Technologie zu investieren. Sollte aber das Ergebnis unter bestimmten Basisannahmen Biomassepotentiale erlauben, wäre im folgenden zu untersuchen, inwiefern die Rahmenbedingungen zu ändern seien, um diese Potentiale zu erschließen.

Szenarienrechnungen gehen im Unterschied zu Prognosen nicht von einer „einzig möglichen Zukunft“ aus, sondern entwerfen „Wenn-Dann-Zukunftsbilder“¹¹. Dies geschieht durch eine Variation der Annahmen, auf denen die jeweiligen Szenarien basieren. Dadurch

¹⁰ Die Potentialermittlung bei der Solar- oder der Windenergie sind hingegen eindeutiger durchführbar, da - in gewissen Grenzen - die Sonneneinstrahlung auf das Gebiet der BRD sowie die Windverhältnisse gemessen werden können und damit ein feststehendes Maß eines physikalischen Potentials gegeben ist, welches lediglich durch die Effizienz der einzelnen Nutzungstechnologien noch beeinträchtigt wird.

¹¹ Beispiel: Wenn die Bevölkerungszahl um 10 % zurückgeht, dann sinkt auch der Grundnahrungsmittelbedarf um 10 %, nicht jedoch zwangsläufig der Genußmittelbedarf, da dieser abhängig von der sozialen Schicht ist.

können verschiedene mögliche Entwicklungen sowie deren Konsequenzen miteinander verglichen werden.

In dem vorliegenden Fall werden die gewählten Einflußfaktoren auf ihre Wirkung bezüglich eines Energieträgeranbaus in der Landwirtschaft analysiert. Da das Wissen um Wirkungszusammenhänge in komplexen Systemen beschränkt ist, fließen neben objektiv gesichertem Wissen auch subjektive Einschätzungen in die Berechnungen ein und werden dann entsprechend gekennzeichnet.

Weitere Größen und deren Auswirkungen, die ohne Zweifel ebenfalls für eine zukünftige Entwicklung des Energieträgeranbaus in Deutschland von Bedeutung sind, werden hier bewußt ausgeklammert (politische und sozio-ökonomische Bestimmungsgrößen).

3.1.1 Beschreibung der Szenarien

Ausgehend von der heutigen Situation werden 3 Szenarien gerechnet:

1. Öko-Landbau mit heutiger Produktivität
2. Öko-Landbau mit gesteigerter Produktivität
3. Öko-Landbau mit veränderten Ernährungsgewohnheiten

Das erste Szenario (Öko-Landbau mit heutiger Produktivität) legt die Annahme zugrunde, daß mit dem heutigen Stand des Wissens und den heutigen Bedarfsstrukturen auf der gesamten landwirtschaftlichen Nutzfläche der Bundesrepublik der ökologische Landbau heute bzw. im Jahr 2050 praktiziert wird. Diese Betrachtung beinhaltet eine Abschätzung der zu erwartenden Erträge der pflanzlichen und tierischen Produktion, die sich nach einer Umstellung beim derzeitigen Stand der Technik ergeben. Die Erträge werden dem heutigen Bedarf an Nahrungsmitteln aus dem pflanzlichen und tierischen Bereich gegenübergestellt. Daraus läßt sich errechnen, welche Fläche zur Deckung des Nahrungsmittelverbrauchs nach einer Umstellung auf ökologischen Landbau benötigt würde. Durch dieses Szenario kann einerseits die häufig gestellte Frage beantwortet werden, ob der Öko-Landbau heute, d.h. sofort in der Lage wäre, Lebensmittel in einem solchen Umfang bereitzustellen, daß die Ernährung der Bundesrepublik gesichert und zudem noch Biomasepotentiale vorhanden wären. Auch soll analysiert werden, wie diese Ergebnisse unter Zugrundelegung einer Bevölkerungsprognose für das Jahr 2050 ausfallen.

Die Einführung einer flächendeckenden ökologischen Landwirtschaft ist in der Praxis kurzfristig nicht zu realisieren und daher muß ein längerer Untersuchungszeitraum veranschlagt werden. Wie in der konventionellen Landwirtschaft sind auch im Öko-Landbau Ertragssteigerungen zu erwarten. Dieser Tatsache wird im Szenario 'Öko-Landbau mit gesteigerter Produktivität' Rechnung getragen. Auf welchem Wege diese Ertragssteigerun-

gen erreicht werden, ob durch technischen, züchterischen oder ökologischen Fortschritt¹², bleibt hier dahingestellt. Es wird eine optimistische (hohe Produktivitätssteigerung) und eine pessimistische Variante (niedrige Produktivitätssteigerung) erarbeitet. Die unterstellten Steigerungsraten sind aus der einschlägigen Literatur sowie aus eigenen Umfragen und Abschätzungen entnommen.

Das dritte Szenario beinhaltet neben zu erwartenden Ertragssteigerungen die Möglichkeit einer Veränderung des Konsumverhaltens in der Bevölkerung. Parallel zur Umstellung der Landwirtschaft auf eine umweltverträgliche Wirtschaftsweise wird sich wahrscheinlich auch ein zunehmendes Umwelt- und Gesundheitsbewußtsein in der Bevölkerung entwickeln, wie es heutzutage besonders bei jungen Müttern zu beobachten ist. Dieses könnte zur Folge haben, daß beispielsweise der Fleischkonsum insgesamt zurückgeht. Es wird die Veränderung der Konsumgewohnheiten gekoppelt mit den unterschiedlichen Varianten der Produktivitätssteigerung aus dem Szenario 'Öko-Landbau mit gesteigerter Produktivität'.

Da es sich hier um eine Potentialabschätzung handelt, werden lediglich zwei Stützjahre zur Berechnung herangezogen: 1995 und 2050. Zwischenergebnisse tragen zu keinem Erkenntnisgewinn bei und werden daher weggelassen. Auch über Potentiale für den Zeitraum nach 2050 werden hier keine Aussagen getroffen.

Im folgenden sind zunächst die Basisannahmen beschrieben, die in alle Szenarien Eingang finden. Daraufhin folgt eine Erläuterung des eigentlichen Vorgehens, also der Szenarioberechnungen bevor im Anschluß daran die Eingangsgrößen und die einzelnen Szenarien und deren Ergebnisse vorgestellt werden. Abgeschlossen wird dieses Kapitel mit einer zusammenfassenden Betrachtung aller Szenarien sowie einer kritischen Analyse und der Verdeutlichung von Fehlerquellen.

3.1.2 Basisannahmen

Wichtige Eingangsgrößen für die Erstellung von Szenarien sind die sog. Treibergrößen, die einen entscheidenden Einfluß auf die Ergebnisse haben. In Bezug auf Energieszenarien sind dies in der Regel die Größen 'Wirtschaftswachstum' und 'Bevölkerungsentwicklung'. Über beide Entwicklungen wird direkt der Energieverbrauch einer Region oder eines Staates beeinflusst, jeder Bürger verbraucht durchschnittlich einen bestimmten Wert an Energie (Strom und Wärme), jede Einheit des Bruttosozialproduktes ist direkt mit einem bestimmten Energiebedarf gekoppelt¹³. Durch solche Größen werden also Szenariokalkulationen „angetrieben“.

¹² Nach Braun (1995) läßt sich dieser jährliche Ertragsanstieg in einen züchterischen und einen technischen Fortschritt aufteilen. Bechmann (1987) geht zusätzlich von einem ökologischen Fortschritt aus, der u.a. aus wachsenden Kenntnissen über die Funktionsweise von Agrarökosystemen resultiert.

¹³ Seit Beginn der ersten Ölkrise 1973/74 wird in der Energiewirtschaft häufig von einer 'Entkopplung' von Energieverbrauch und Wirtschaftswachstum gesprochen. Dieser Begriff ist jedoch irreführend, da tatsächlich keine Entkopplung vonstatten ging, sondern lediglich eine Kopplung auf niedrigerem Niveau. Dies bedeutet, daß durch Effizienzverbesserungen die gleiche Wertschöpfung heute mit weniger Energieeinsatz zu erzielen ist. Bei einer Entkopplung müßten diese beiden Größen aber völlig unabhängig voneinander sein.

Ein wichtiges Maß für die Entwicklung des Lebensmittelbedarfs stellt die Bevölkerungszahl dar. Um eine Konsistenz mit anderen Studien zu erhalten, wird die prognostizierte Bevölkerungsentwicklung der Enquete-Szenarien zugrunde gelegt (IBS 1995). Lediglich im ersten Szenario wird zusätzlich die heutige Bevölkerungszahl unterstellt, um die bereits erwähnte Frage bezüglich einer sofortigen Umstellung auf Öko-Landbau beantworten zu können. Die Größe Wirtschaftswachstum hat in dem vorliegenden Fall lediglich indirekte Effekte über die Bevölkerungsentwicklung und in kleinem Maße über die Beeinflussung des Genußmittel-verbrauches und soll daher ausgeklammert werden.

Der Pro-Kopf-Kalorienverbrauch bleibt über den gesamten Betrachtungszeitraum konstant. Aus ernährungsphysiologischer Sicht wäre es ohne weiteres möglich, diese Annahme wegzulassen und den Kalorienverbrauch zu senken, da in der Bundesrepublik Deutschland der von der Deutschen Gesellschaft für Ernährung (DGE) empfohlene Bedarf für Energie, Fett und Eiweiß bei weitem überschritten wird (Bechmann 1987).

Die gesamte landwirtschaftliche Nutzfläche (LN) der Bundesrepublik Deutschland wird nach den „Rahmenrichtlinien des ökologischen Landbaus“ der Arbeitsgemeinschaft ökologischer Landbau (AGÖL) und nach den aktuellen EU-Richtlinien über Bioprodukte bzw. ökologischen Landbau¹⁴ bewirtschaftet.

Die heutige LN beträgt 17,3 Mio. ha und bleibt während des Betrachtungszeitraums unverändert. Es wird also weder eine mögliche Verringerung der landwirtschaftlichen Nutzfläche durch z.B. Siedlungs- bzw. Straßenbau oder Flächenstilllegungspflicht noch eine Vergrößerung der landwirtschaftlichen Nutzfläche durch zusätzliche Inkulturnahme von Grenzertragsflächen¹⁵ in Betracht gezogen.

Importe bleiben im Bereich der Nahrungsmittel (Reis, Kaffee, Tee, Zitrusfrüchte u.a.) unberücksichtigt, während bei der Betrachtung des Futtermittelverbrauchs darauf verzichtet wird. Der gesamte Futtermittelverbrauch soll daher im Einklang mit den AGÖL-Richtlinien auf heimischen Anbauflächen erzeugt werden. Auch auf Nahrungs- und Futtermittelexporte wird verzichtet. Somit ergibt sich resultierend, abgesehen von nicht in Deutschland wachsenden Kulturen, eine Versorgung mit ausschließlich heimisch erzeugten Nahrungsmitteln. Wie bereits erwähnt, wäre diese Annahme aufgrund der Integration in die Europäische Union eigentlich unnötig, soll aber aufgrund der in Deutschland geführten Diskussion dennoch beibehalten werden. Für die Ergebnisse stellt dieses den ungünstigsten Fall dar, da Deutschland zu den am dichtesten besiedelten und bewirtschafteten Ländern in Europa gehört, in Nachbarländern also zum Teil wesentlich größere Potentiale bestehen¹⁶.

¹⁴ Verordnung des Rates der EG, Nr. 2092/91 vom 24. Juni 1991

¹⁵ Grenzertragsflächen: Flächen mit meist geringer natürlicher Ertragskraft, auf dem durch Wirtschafterschwernisse, insbesondere durch hohen Arbeitsaufwand, die Erträge so gering sind, daß sie die Produktionskosten nicht decken oder nur unwesentlich überschreiten (Pacyna 1988).

¹⁶ Ein Beispiel: In Deutschland liegt die durchschnittliche Bevölkerungsdichte bei 4,8 Menschen pro Hektar landwirtschaftlicher Nutzfläche, in Polen lediglich bei 2,0 (Wolters 1998).

Da nicht jede Frucht bzw. jedes tierische Produkt betrachtet werden kann, wird eine Auswahl der wichtigsten Lebensmittel vorgenommen. Der Nahrungsmittelbedarf beinhaltet im pflanzlichen Bereich ausschließlich Getreide, Kartoffeln, Gemüse und Zuckerrüben. Im tierischen Bereich setzt sich die Produktpalette aus Rind-, Schweinefleisch und Milch zusammen, die wiederum einen Futtermittelbedarf aufweisen, welcher ebenfalls Berücksichtigung findet. Da die Milchkühe neben der Milch letztlich ihr Fleisch liefern und damit einen gewissen Anteil des Rindfleischverbrauchs abdecken, bleibt unberücksichtigt. Durch diese Vereinfachungen ergibt sich ein kalkulatorischer Fehler, d. h. die Flächenbindung der betrachteten Kulturen und Produkte liegt etwa 15 % unterhalb der tatsächlichen. Dieser prozentuale Fehler findet bei den Berechnungen als Aufschlag Eingang.

Alle weiteren Annahmen, die den einzelnen Szenarien zugrundeliegen, werden den jeweiligen Berechnungen vorangestellt.

3.1.3 Vorgehensweise im Detail

Ausgehend von einer bestimmten Bevölkerungszahl kann mit Hilfe der Ernährungsstruktur abgeschätzt werden, wieviel Fläche¹⁷ in Deutschland dafür bereit gestellt werden muß. Im für die Biomassennutzung günstigen Fall ergibt sich ein Flächenüberhang, d.h. ein Teil der heutigen landwirtschaftlichen Nutzfläche würde zukünftig nicht mehr benötigt und ließe sich dann zum Anbau von Energieträgern nutzen.

Dabei wird jedoch nicht von einer monokulturellen Nutzung ausgegangen, sondern von einer Eingliederung in nachhaltige Fruchtfolgen, wie sie in Abschnitt 2.3 vorgestellt wurden. Die gesamte LN würde demnach auch zukünftig zur Nahrungsmittelproduktion genutzt, wobei einzelne Fruchtfolgeglieder (von wechselnden Feldern) als Energieträger verwendet würden.

Sollte sich bei den Berechnungen tatsächlich ein Flächenüberhang ergeben, wird im letzten Schritt eine Bestimmung der Mengen- und Energiepotentiale an Biomasse vorgenommen. Die Vorgehensweise lehnt sich eng an diejenige von Kaltschmitt/Wiese (1993) an, die bereits Rechnungen dieser Art unter den Bedingungen des konventionellen Anbaus auf der Grundlage der zu erwartenden zukünftigen Stilllegungsflächen durchgeführt haben. Die Potentiale werden für die in Kapitel 2 erläuterten Energiepflanzen (Getreide, Miscanthus, Kurzumtriebsplantagen, Raps, Sonnenblumen, Öllein und Kartoffeln) errechnet.

Zuletzt werden noch anhand der Tierbesätze der einzelnen Nutztierarten und deren artspezifischen Aufkommen an Exkrementen die Potentiale der Biogasproduktion dargestellt.

Im folgenden wird aus Transparenzgründen die genaue Berechnungsweise vorgestellt. Sollte dies der LeserIn zu sehr ins Detail gehen, möge man mit dem nächsten Kapitel fortfahren.

¹⁷ Hier: Fläche = Ackerland + Grünland

Berechnungsgang

Im ersten Schritt wird der bundesdeutsche Gesamtverbrauch für die betrachteten pflanzlichen Nahrungsmittel bestimmt:

$$\text{Verbrauch}_{\text{ges.,i}} = \text{Verbrauch}_{\text{spez.,i}} \cdot \text{Bevölkerung} \quad (\text{Gl. 3.1})$$

Verbrauch _{ges.,i}	=	gesamter jährlicher Verbrauch eines Nahrungsmittels i in Deutschland
Verbrauch _{spez.,i}	=	Verbrauch des Nahrungsmittels i pro Kopf und Jahr in Deutschland
Bevölkerung	=	Bevölkerungszahl in Deutschland

Gedanklich werden im Rahmen dieser Untersuchung alle Nahrungsmittel im Ökolandbau produziert. Daher wird die dafür notwendige Fläche gemäß folgender Gleichung bestimmt. Zuvor werden die Durchschnittserträge pro Hektar der Haupterwerbsbetriebe des ökologischen Landbaus abgeschätzt. Die Flächenbindung ergibt sich dann mit Hilfe des Gesamtverbrauchs und des Naturalertrages pro Hektar:

$$\text{Fläche}_{\text{ges.}} = \sum_{i=1}^n (\text{Verbrauch}_{\text{ges.,i}} / \text{Ertrag}_{\text{spez.,i}}) \quad (\text{Gl. 3.2})$$

Fläche _{ges.}	=	gesamte, für den Anbau aller Nahrungsmittel benötigte Fläche
Ertrag _{spez.,i}	=	Ertrag für Nahrungsmittel i pro Hektar und Jahr.

Parallel dazu wird ermittelt, wieviel landwirtschaftliche Nutzfläche durch den derzeitigen Verbrauch an tierischen Produkten gebunden wird. Wie bei den pflanzlichen Nahrungsmitteln wird auch hier der jährliche Pro-Kopf-Verbrauch von Rind- und Schweinefleisch sowie von Milch auf die gesamte Bevölkerung hochgerechnet, um den Gesamtverbrauch pro Jahr an diesen Produkten zu erhalten (s. Gl. 3.1).

Zur Bestimmung der exakten Flächenbindung wird zunächst die Anzahl der Tiere ermittelt, die dafür notwendig sind:

$$\text{Anzahl Tiere}_i = \text{Gesamtverbrauch}_i / \text{Leistung}_{\text{spez.,i}} \quad (\text{Gl. 3.3})$$

Anzahl Tiere _i	=	Anzahl der Tiere i zur Bereitstellung einer Fleisch- oder Milchmenge
Gesamtverbrauch _i	=	Ermittelter Gesamtverbrauch von Rinder-/Schweinefleisch oder Milch
Leistung pro Tier	=	Fleischmenge pro Rind/Schwein oder Milchleistung pro Kuh

Für Rinder und Schweine muß die Fleischmenge, die ein einzelnes Tier im Durchschnitt liefert, über Gleichung 3.4 errechnet werden. Diese ergibt sich aus den Angaben über das durchschnittliche Lebendgewicht¹⁸ und die durchschnittliche Ausschlagungsrate¹⁹ pro Tier.

¹⁸ Das Lebendgewicht ist das Gewicht des lebenden Tieres

¹⁹ Die Ausschlagungsrate gibt den prozentualen Anteil des Schlachtgewichtes vom Lebendgewicht an.

$$\text{Leistung}_{\text{spez., } i} = \text{Lebendgewicht}_{\text{spez., } i} \cdot \text{Ausschlachtung}_{\text{spez., } i} \quad (\text{Gl. 3.4})$$

Leistung _{spez., i}	=	Fleischmenge pro Tier für ein Tier i
i	=	Rinder oder Schweine
Lebendgewicht _{spez., i}	=	Lebendgewicht pro Tier für ein Tier i
Ausschlachtung _{spez., i}	=	Ausschlachtungsrate pro Tier für ein Tier i

Aus der Anzahl der Tiere läßt sich daraufhin die Fläche bestimmen, die für die Erzeugung der entsprechenden Futtermittel notwendig ist. Zunächst erfolgt eine Abschätzung der Futtermengen in Getreideeinheiten²⁰ (GE), die diese Tiere in Anspruch nehmen. Die angenommenen Werte für Mastvieh bzw. -schweine, errechnen sich auf der Grundlage von bedarfsgerechten Futterrationen für die jeweilige Tierart. Aus der GE-Produktion pro Hektar ergibt sich zusammen mit der benötigten GE-Menge die erforderliche Anbaufläche eines tierischen Produktes.

$$\text{Anbaufläche}_{\text{ges., } i} = \text{GE-menge}_i / \text{GE-produktion}_{\text{spez.}} \quad (\text{Gl. 3.5})$$

Anbaufläche _{ges., i}	=	gesamte jährliche Anbaufläche, die für ein Futtermittel zur Erzeugung eines tierischen Produktes i benötigt wird
GE-menge _i	=	Menge an Getreideeinheiten, die für ein einzelnes tierisches Produkt i benötigt wird
GE-produktion _{spez.}	=	Getreideeinheitenproduktion pro Hektar in Deutschland

Da jedoch keine Durchschnittswert über die durchschnittliche Getreideeinheitenproduktion pro Hektar vorliegen, müssen diese auf anderem Wege abgeschätzt werden. Dies erfolgt mit Hilfe des Getreideeinheitenschlüssels (Quade 1993). Die Produktionsmengen sämtlicher landwirtschaftlicher Kulturen werden in GE umgerechnet und aufsummiert. Dieser Wert gibt Auskunft über die durchschnittliche Getreideeinheitenproduktion pro Jahr in der Bundesrepublik Deutschland.

$$\text{GE-produktion}_{\text{ges.}} = \sum_{i=1}^n \text{Ertrag}_{\text{ges., } i} \cdot \text{GE-Faktor}_i \quad (\text{Gl. 3.6})$$

GE-produktion _{ges.}	=	Gesamte jährliche Getreideeinheitenproduktion in Deutschland
i	=	Landwirtschaftliche Kultur
n	=	Anzahl der betrachteten Kulturen
Ertrag _{ges., i}	=	Gesamter jährliche Ertrag für eine landwirtschaftliche Kultur in Deutschland
GE-Faktor _i	=	Umrechnungsfaktor für Getreideeinheiten für eine landwirtschaftliche Kultur in Deutschland

Zusammen mit der landwirtschaftlich genutzten Ackerfläche Deutschlands ergibt sich schließlich die Menge an Getreideeinheiten, die im Durchschnitt auf einem Hektar in einem Jahr produziert werden können.

²⁰ Einheit, die eine Umrechnung der landwirtschaftlichen Produktion in naturale Gesamtzahlen ermöglicht. Für die Umrechnung wird in erster Linie der Nettoenergiewert berücksichtigt (Quade, 1993).

$$\text{GE-produktion}_{\text{spez.}} = \text{GE-produktion}_{\text{gesi}} / \text{AF}_{\text{ges.}} \quad (\text{Gl. 3.7})$$

$$\frac{\text{GE-produktion}_{\text{spez.}}}{\text{AF}_{\text{ges.}}} = \frac{\text{Getreideeinheitenproduktion pro Hektar in Deutschland}}{\text{Landwirtschaftlich genutzte Ackerfläche in Deutschland}}$$

Die gesamte Flächenbindung für die Nahrungsmittelerzeugung unter den Bedingungen des ökologischen Landbaus ergibt sich dann durch Aufsummierung aller Flächen, die für die pflanzliche und tierische bzw. Milchproduktion benötigt werden. Zudem wird der bereits erwähnte prozentuale Aufschlag einkalkuliert.

Entsprechend der Vorgehensweise von Kaltschmitt und Wiese (1993) werden daraufhin die gewinnbaren Energieträgeraufkommen aller untersuchten Pflanzen sowie deren Energieinhalte errechnet.

Der durch die Einbindung der Energiepflanzen in die Fruchtfolge resultierende Trockenmasseertrag ergibt sich durch folgenden Zusammenhang:

$$\text{Trockenmasseertrag}_{\text{ges., ij}} = \text{Trockenmasseertrag}_{\text{spez., i}} \cdot \text{Fläche}_j \quad (\text{Gl. 3.8})$$

$$\begin{aligned} \text{Trockenmasseertrag}_{\text{ges., ij}} &= \text{Gesamter jährlicher Trockenmasseertrag für eine einzelne Kultur } i \text{ auf der Fläche } j \\ \text{Trockenmasseertrag}_{\text{spez., i}} &= \text{Jährlicher Trockenmasseertrag pro Hektar für die Kultur } i \\ &= \text{Einzelne Kulturen (Getreide, Miscanthus, Kurzumtriebsplantagen)} \\ \text{Fläche}_j &= \text{Für den Energieträgeranbau nutzbare Flächen aus den Szenarien} \end{aligned}$$

Aus dem Heizwert der einzelnen Kulturen und den Trockenmasseerträgen folgt der Gesamt-Energieertrag:

$$\text{Energieertrag}_{\text{ges., ij}} = \text{Trockenmasseertrag}_{\text{ges., ij}} \cdot \text{Heizwert}_i \quad (\text{Gl. 3.9})$$

$$\frac{\text{Energieertrag}_{\text{ges., ij}}}{\text{Heizwert}_i} = \frac{\text{Gesamter jährlicher Energieertrag einer Kultur } i \text{ für die Fläche } j}{\text{Heizwert einer Kultur } i}$$

Für die Ölfrüchte (Raps, Sonnenblumen, Öllein) bzw. die Ethanolfrucht Kartoffeln werden die Erträge aus dem gewinnbaren Öl- bzw. Ethanolgehalt und den Frischsubstanzerträgen gebildet (Gl. 3.10) und anschließend in Energieeinheiten umgerechnet.

$$\text{Ölertrag}_{\text{ges., ij}} = \text{Frischsubstanzertrag}_i \cdot \text{Ölgehalt}_i \quad (\text{Gl. 3.10a})$$

$$\text{Ethanolertrag}_{\text{ges., ij}} = \text{Frischsubstanzertrag}_i \cdot \text{Ethanolgehalt}_i \quad (\text{Gl. 3.10b})$$

$$\begin{aligned} \text{Öl-/Ethanolertrag}_{\text{ges., ij}} &= \text{Gesamter jährlicher Öl-/Ethanolertrag für die Kultur } i \text{ auf der Fläche } j \\ \text{Frischsubstanzertrag}_i &= \text{Frischsubstanzertrag einer Kultur } i \\ \text{Öl-/Ethanolgehalt}_i &= \text{Jährlicher Öl-/Ethanolgehalt für die Kultur } i \end{aligned}$$

Der resultierende theoretische Energieinhalt muß abschließend um den Aufwand zur Umwandlung in Endenergie (wie Hackschnitzel oder Ethanol) reduziert werden, so daß sich der Netto-Energieertrag ergibt.

$$\text{Netto-Energieertrag}_{\text{ges., ij}} = \text{Energieertrag}_{\text{ges., ij}} - \text{Energieaufwand}_{\text{ges., ij}} \quad (\text{Gl. 3.11})$$

Zuletzt muß noch der Energieinhalt aus der Vergärung von Reststoffen der Tierhaltung errechnet werden. Dazu wird zunächst der Tierbestand bestimmt:

$$\text{Tierbestand}_{\text{ges., i}} = \text{Verbrauch}_i / \text{Fleischertrag}_i \quad (\text{Gl. 3.12})$$

$$\begin{aligned} \text{Tierbestand}_{\text{ges., i}} &= \text{Gesamter Tierbestand einer Tierart i} \\ i &= \text{Rinder oder Schweine} \\ \text{Verbrauch}_i &= \text{Verbrauch an Fleisch einer Tierart i} \\ \text{Fleischertrag}_i &= \text{Fleischertrag pro Tier einer Tierart i} \end{aligned}$$

Die Anzahl der Milchkühe wird analog dazu bestimmt:

$$\text{Tierbestand}_{\text{ges., Milch}} = \text{Milchverbrauch} / \text{Milchmenge}_{\text{spez.}} \quad (\text{Gl. 3.13})$$

$$\begin{aligned} \text{Tierbestand}_{\text{ges., Milch}} &= \text{Gesamter Bestand von Milchvieh} \\ \text{Milchverbrauch} &= \text{Gesamter Milchverbrauch in Deutschland} \\ \text{Milchmenge}_{\text{spez.}} &= \text{Jährlich produzierte Milchmenge pro Kuh} \end{aligned}$$

Anschließend erfolgen Abschätzungen zu den Mengen an organischer Substanz für die einzelnen Tierarten und den Gasausbeuten aus dieser organischen Substanz. Aufgrund des Weidegangs bei artgerechter Tierhaltung werden entsprechend geringere Substanzerträge angesetzt. Daraus ergibt sich das gesamte jährliche Gasaufkommen für die jeweilige Tierart.

$$\text{Gasaufkommen}_{\text{ges., i}} = \text{Organische Substanz}_i \cdot \text{Gasausbeute}_i \quad (\text{Gl. 3.14})$$

$$\begin{aligned} \text{Gasaufkommen}_{\text{ges., i}} &= \text{Gesamtes jährliches Gasaufkommen einer Tierart i} \\ i &= \text{Rinder, Schweine, Milchkühe} \\ \text{Organische Substanz}_i &= \text{Jährliches Aufkommen an organischer Substanz einer Tierart i} \\ &\quad \text{unter Beachtung des Weidegangs} \\ \text{Gasausbeute}_i &= \text{Gasausbeute der organischen Substanz einer Tierart i} \end{aligned}$$

Zur Ermittlung des Energieertrages wird das gesamte jährliche Gasaufkommen mit dem durchschnittlichen Heizwert verrechnet.

$$\text{Energieertrag}_{\text{ges., Bio}} = \text{Gasaufkommen}_{\text{ges.}} \cdot \text{Heizwert}_{\text{Bio}} \quad (\text{Gl. 3.15})$$

$$\begin{aligned} \text{Energieertrag}_{\text{ges., Bio}} &= \text{Gesamter jährlicher Energieertrag aus Biogas} \\ \text{Heizwert}_{\text{Bio}} &= \text{Durchschnittlicher Heizwert von Biogas} \end{aligned}$$

3.2 Eingangswerte aller Szenarien

In diesem Abschnitt werden die Werte angegeben, die in allen Szenarien für das Basisjahr 1995 gleich bleiben und damit die Eingangsdatenbasis bilden. Änderungen dieser Werte sind in den jeweiligen Szenarienabschnitten erläutert.

Heutige Verbräuche

Der folgenden Tabelle können die aktuellen Verbrauchswerte der ausgewählten Grundnahrungsmittel entnommen werden sowie in Tabelle 3 die Verbräuche ausgewählter tierischer Produkte.

Tab. 2: Verbrauch ausgewählter Grundnahrungsmittel, 1995

Grundnahrungsmittel	Verbrauch in kg/(cap•a)	Verbrauch gesamt in 1000 t/a
Getreide ²¹	91,1	7397
Kartoffeln	73,3	5952
Gemüse	84,8	6886
Zucker	33,7	2736

Quelle: Agrarbericht (BMELF 1997); eigene Berechnungen

Tab. 3: Verbrauch ausgewählter tierischer Produkte, 1995

Tierisches Produkt	Verbrauch in kg/(cap•a)	Verbrauch gesamt in 1000 t/a
Rindfleisch	10,3	836
Schweinefleisch	39,8	3.232
Milch ²²	352,2	28.600

Quelle: Agrarbericht (BMELF, 1997); eigene Berechnungen

Spezifische Erträge

Tabelle 4 sind die durchschnittlichen spezifischen Erträge der konventionellen und der ökologischen Landbewirtschaftung zu entnehmen, wobei diese Zahlen auf mehreren Untersuchungen und Systemvergleichen beruhen.

²¹ Der Verbrauchswert für Getreide ergibt sich aus dem Mehlwert/Kopf/Jahr multipliziert mit dem durchschnittlichen Ausmahlungsgrad für Getreide von 75%.

²² Verbrauch von Milch beinhaltet alle Milcherzeugnisse (Käse, Joghurt, Quark, Sahne usw.)

Tab. 4: Spezifische Erträge ausgewählter Ackerkulturen

Ackerkultur	Produktion in dt/(ha•a) im Durchschnitt der konventionellen Haupterwerbsbetriebe (KL)	Produktion in dt/(ha•a) im Durchschnitt der ökologischen Haupterwerbsbetriebe (ÖL)	Ertragsunterschied ÖL zu KL
Getreide ²³	59,2	41,44	- 20 %
Kartoffeln	269,7	207,69	- 30 %
Gemüse	246	240	- 3,4 %
Zuckerrüben	526,8	508,2	- 3,5 %

Quelle: HAAS und KÖPKE (1994); SPIESS et. al. (1993); BMELF (1997); BECHMANN (1987)

Tabelle 5 gibt über die Höhe der durchschnittlichen Fleischmenge pro Tier in der konventionellen Landwirtschaft Auskunft. Diese Werte werden unverändert auf den ökologischen Landbau übertragen. Bei Masttieren aus der ökologischen Landwirtschaft wird jedoch generell eine verminderte Futtermittelverwertung von 30% angenommen (Abel 1997), woraus gegenüber der konventionellen Tierernährung höhere Werte für die Menge an benötigten Getreideeinheiten resultieren. Diese Annahme trägt der Tatsache Rechnung, daß die Leistung der Tiere durch veränderte Tierernährungsgrundsätze und andere Haltungssysteme im ökologischen Landbau sinkt. In die Berechnung gehen die Werte für die Bullenmast (150-600 kg Lebendgewicht) sowie für die Aufzucht (Geburt bis 150 kg Lebendgewicht) ein. Nach ABEL (1997) ergibt sich ein Wert von 3,536 t GE/Mastrind und entsprechend dazu ein Wert von 0,431 t GE/Schwein.

Tab.5: Fleischmenge pro Tier

Schlachttier	Durchschnittliches Lebendgewicht in kg pro Tier	Durchschnittliche Ausschlagungsrate in %	Durchschnittliche Menge an Fleisch in kg pro Tier
Rind	500	60	300
Schwein	100	50	50

Quelle: BLV Verlagsgesellschaft (1994); eigene Berechnungen

Bei der Abschätzung des nötigen Milchviehbestandes wird von einer durchschnittlichen jährlichen Milchleistung von 4500 kg pro Kuh ausgegangen. Dieser Wert entspricht einem Leistungsabfall von 17 % gegenüber der Milcherzeugung in der konventionellen Landwirtschaft. Die Menge an GE, die eine Milchkuh im ökologischen Landbau jährlich benötigt, beläuft sich auf 3,22 t²⁴.

Auch der Wert für die spezifische Getreideeinheitenproduktion bedarf unter den Bedingungen des ökologischen Anbaus einer Korrektur nach unten, da Ertragseinbußen bei

²³ Durchschnitt der Erträge aus Weizen, Gerste und Roggen

²⁴ Nach Bechmann (1987: S.274) benötigt eine Kuh während der Zeit, in der sie zur Milcherzeugung verwendet werden kann, GE in der Höhe von durchschnittlich 16,1 t. Bei einer Nutzungsdauer im Öko-Landbau von durchschnittlich 5 Laktationen (milcherzeugende Jahre) ergibt sich der o. g. Wert.

nahezu allen Kulturen zu erwarten sind. So wird nach Abel (1997) angenommen, daß unter den Bedingungen des ökologischen Landbau sich im Durchschnitt eine Ertragsminderung von 30% einpendelt. Daraus ergeben sich für die konventionelle Landwirtschaft ein Wert von 4,3 t GE und für den ökologischen Landbau rund 3 t GE pro Hektar.

3.3 Szenario ‘Öko-Landbau mit heutiger Produktivität’

Wie bereits erwähnt, wird dieses Szenario in zwei Varianten gerechnet. Bei der ersten soll der Frage nachgegangen werden, ob unter den heutigen Bedingungen und einer gedanklich angenommenen sofortigen Umstellung auf ökologischen Landbau Biomassepotentiale zu erwarten sind. Die zugrundegelegten Naturalerträge entsprechen also den aktuellen Werten, Ertragssteigerungen wie auch die zukünftige Bevölkerungsentwicklung werden nicht beachtet. Desweiteren wird bei dieser Szenarioanalyse unterstellt, daß weder der Gesamtnahrungsmittelbedarf noch das Konsumverhalten Änderungen unterliegen.

Bei der zweiten Variante werden die Eingangsgrößen bis auf die Bevölkerungszahl konstant gehalten. Diese wird auf den prognostizierten Wert für 2050 (67 Mio Menschen) gelegt und somit ergibt sich eine Antwort auf die Frage, ob bei heutigen Ernährungsgewohnheiten und heutiger Produktivität des ökologischen Landbaus Biomassepotentiale im Jahr 2050 vorlägen und in welcher Höhe.

Wie der nachfolgenden Tabelle zu entnehmen ist, ist der Gesamtflächenbedarf bei Variante 1 erwartungsgemäß enorm hoch und liegt deutlich über der zur Verfügung stehenden landwirtschaftlichen Nutzfläche von 17,3 Mio ha. Aber auch bei der zweiten Variante liegt die benötigte Fläche allein für die Lebensmittelabdeckung der bundesdeutschen Bevölkerung zu hoch. Es wird somit deutlich, daß unter den getroffenen Annahmen der Anbau von Energieträgern nicht verantwortbar wäre.

Tab. 6: Flächenbedarf für das Szenario ‘Öko-Landbau mit heutiger Produktivität’

Ackerkultur/Tierisches Produkt	Variante 1: heutige Bevölkerung Fläche in Mio ha	Variante 2: heutige Bevölkerung Fläche in Mio ha
Getreide	1,79	1,47
Kartoffeln	0,29	0,24
Gemüse	0,29	0,24
Zuckerrüben	0,36	0,30
Rindfleisch	3,29	2,70
Schweinefleisch	9,29	7,64
Milch	6,82	5,61
Gesamtfläche (incl. 15 % Aufschlag)	25,43	20,92

Andererseits darf aus den obigen Ergebnissen nicht geschlossen werden, daß der Öko-Landbau Deutschland nicht mit ausreichend Nahrungsmitteln versorgen könnte. Der mit Abstand größte Teil der Flächenbindung (über 85 %) entsteht durch den Konsum von Milch- und vor allem Fleischprodukten, da in dieser Berechnung implizit vorausgesetzt wurde, daß die Futtermittel ebenfalls vollständig in Deutschland produziert würden. Daraus ist vornehmlich folgendes abzuleiten: der Fleischkonsum ist erstens eindeutig zu hoch, da wir uns nicht nachhaltig selber versorgen können. Zweitens leben wir heute u.a. auf Kosten von Ländern, die uns mit Futtermitteln beliefern, zum Teil aber selber nicht genügend Nahrungsmittel für die eigene Bevölkerung produzieren²⁵. U.a. unter dem Stichwort 'Sojaanbau in Entwicklungsländern' ist dies bereits häufig problematisiert worden.

Die obigen Ergebnisse decken sich mit einer Reihe anderer Untersuchungen, so u.a. von Bechmann (1987) und Bossel et al. (1986), die eine Ernährungssicherung bei ökologischem Landbau nur gewährleisten sehen, wenn entweder der Fleischkonsum erheblich sinkt oder dieser aus Fleisch- oder Futtermittelimporten bei gleichzeitiger intensiver Tierhaltung bestritten würde.

3.4 Szenario 'Öko-Landbau mit gesteigerter Produktivität'

Ertragssteigerungen finden nicht nur in der konventionellen Landwirtschaft statt, sondern auch in der ökologischen, welche noch verschiedene, nicht ausgeschöpfte Potentiale besitzt. Dies liegt darin begründet, daß Forschung und Entwicklung in diesem Bereich jahrzehntelang vernachlässigt wurde bzw. kaum existent und hingegen auf die konventionelle Bewirtschaftungsform ausgerichtet war. Braun (1995) teilt die Steigerungen auf nach züchterischen und technischen Aspekten, Bechmann (1987) geht zusätzlich noch von einem ökologischen Fortschritt aus, der u.a. aus wachsenden Kenntnissen über die Funktionsweise von komplexen Ökosystemen resultiert.

Dennoch ist es schwierig abzuschätzen, in welcher Höhe diese Ertragssteigerungen erfolgen werden. Aus diesem Grund sollen auch hier wieder 2 Varianten gerechnet werden, und zwar einerseits mit hohen Erwartungen und andererseits mit niedrigen Erwartungen. Damit soll eine Bandbreite möglicher Entwicklungen aufgezeigt werden, wobei auch hier die tatsächliche wohl dazwischen liegen wird. Gestützt werden diese unterstellten Ertragssteigerungen durch Abschätzungen des Bundesministeriums für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten (BMELF 1993), welches prozentuale Steigerungsraten für die konventionelle Bewirtschaftung in den nächsten 15 Jahren angibt. Diese wiederum wurden verglichen mit Aussagen aus der ökologischen Landwirtschaft (Bechmann, Braun, Uni Göttingen, Stiftung Ökologie und Landbau etc.) und dementsprechend korrigiert.

²⁵ Der Anteil von Entwicklungsländern am Futtermittelimport beträgt rund 20% (BUND/Misereor 1995)

Hinter den Varianten der möglichen Ertragssteigerungen stehen vornehmlich zwei Aspekte: zum einen wird davon ausgegangen, daß über ein bestimmtes Maß Ertragssteigerungen aus ökologischen Gründen nicht mehr sinnvoll sind, da die Trag- oder Regenerierfähigkeit des Ökosystems überschritten wird. Dieses absolute Maß ist je nach Variante auf unterschiedlichen Höhen angesetzt (s. Abbildung 2). Zudem gehen wir davon aus, daß in der niedrigen Variante auch die prozentualen Steigerungsraten bis zum Erreichen des Sättigungswertes geringer sind als in der hohen - die Erträge also langsamer und auf ein niedrigeres Niveau ansteigen.

Das niedrige Ansteigen läßt sich auf Umstellungsschwierigkeiten zurückführen, da die völlige Abkehr von der bisher üblichen Bewirtschaftungsform ein Umdenken in der Praxis sowie eine Umorientierung der gesamten Forschungslandschaft bedeutet. Dieser Tatbestand kann dazu führen, daß der Fortschritt in eher kleineren Raten vollzogen wird. Daraus ergibt sich, daß die Erträge auch noch im Jahre 2050 unterhalb der Erwartungen des Landwirtschaftsministeriums (für das Jahr 2010!) liegen.

Die höheren Steigerungsraten wiederum basieren auf der Annahme, daß aufgrund geänderter politischer Rahmenbedingungen mit dem eindeutigen Ziel der Vollumstellung auf Öko-Landbau eine Dynamisierung eintritt, die bestehende Potentiale erheblich schneller ausschöpft. Der Sättigungswert im Jahr 2050 liegt dann um rund 35 % oberhalb der Erwartungen des BMELF für 2010.

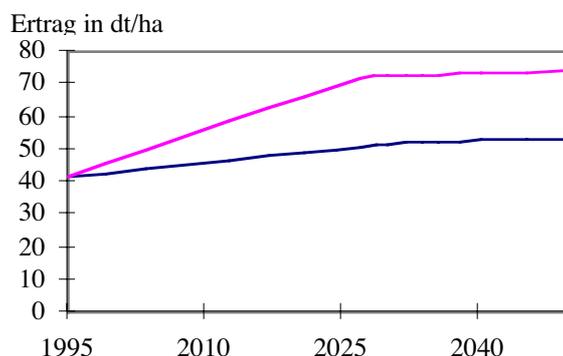


Abb. 2: Ertragsentwicklungen zweier Varianten für Getreide im Öko-Landbau

In der Tierproduktion stellt sich das Problem der Abschätzung der durchschnittlichen Leistungssteigerungen noch schwieriger dar. Es bestehen nach Glodek (1997) und Gerken (1997) keine oder nur unsichere Möglichkeiten, da sich die Fleischleistung der Tiere aus einer Vielzahl von direkten und indirekten Kriterien zusammensetzt²⁶. Grundsätzlich können sie alle in Zukunft gewissen Veränderungen unterliegen. In dieser Arbeit wird eine Erhöhung in der Fleischleistung bei flächendeckendem ökologischen Landbau als Folge einer erhöhten Futterverwertung die größte Bedeutung zugemessen. Gründe hierfür können u.a. in einer Verbesserung der Futterqualität liegen bzw. in einer angepaßteren Ra-

²⁶ Direkte Kriterien der Fleischleistung sind nach Bogner (1978) und BLV (1994) die Mastleistung und der Schlachtwert, indirekte sind bspw. Konstitution, Gesundheit und Fruchtbarkeit.

tionsgestaltung, aber auch in der Wahl anderer Rassen oder durch die Erhöhung der Tageszunahmen des einzelnen Tieres in Folge von Zuchtarbeit.

In der niedrigen Variante wird ein nur leicht erhöhter Wert (3 % insgesamt bis 2050) für die Futtermittelverwertung angenommen, in der hohen Variante steigt diese um 6 %. Diese Werte mögen sehr gering erscheinen, berücksichtigen allerdings, daß eine Erhöhung der Futtermittelverwertung nicht in der gleichen Höhe wie in der konventionellen Landwirtschaft erreicht werden kann, da der Einsatz von Leistungsförderern und Zusatzstoffen in der ökologischen Landwirtschaft verboten ist. Auch in der Milchwirtschaft sind diese Steigerungen zugrunde gelegt.

Ansonsten werden die Basisannahmen aus der Variante 2 des vorhergehenden Abschnitts übernommen: Bevölkerung im Jahre 2050 (67 Mio), Ernährungsgewohnheiten wie heute. Aus diesen Eingangswerten lassen sich erneut die Flächenbedarfe aller Kulturen sowie der Fleisch- und Milchproduktion errechnen, die in der nachfolgenden Tabelle ausgewiesen sind.

Tab. 7: Flächenbedarf für das Szenario 'Öko-Landbau mit gesteigerter Produktivität'

Ackerkultur/Tierisches Produkt	Variante 1: niedrige Steigerung Fläche in Mio ha	Variante 2: hohe Steigerung Fläche in Mio ha
Getreide	1,14	0,83
Kartoffeln	0,18	0,14
Gemüse	0,19	0,16
Zuckerrüben	0,24	0,20
Rindfleisch	2,13	1,59
Schweinefleisch	6,01	4,49
Milch	4,20	3,00
Gesamtfläche (incl. 15 % Aufschlag)	16,20	11,95

In der Variante mit einer niedrigen Steigerungsrate ergibt sich ein leichter Flächenüberhang von 1,1 Mio. ha wohingegen in der zweiten Variante hohe Flächenpotentiale von über 5 Mio. ha ausgewiesen werden können. Allerdings sei darauf hingewiesen werden, daß dies lediglich einen theoretischen Höchstwert wiedergibt und Zweifel daran bestehen, ob die unterstellten Produktivitäten tatsächlich langfristig ökologisch verträglich sind.

3.5 Szenario ‘Öko-Landbau mit veränderter Ernährung’

Es wurde bereits kurz thematisiert, daß die Höhe des Fleischkonsums der deutschen Bevölkerung als nicht zukunftsfähig anzusehen ist, da wir u.a. auf Kosten anderer Länder leben. Damit ist diese Lebensform weder übertragbar auf andere Regionen der Erde noch dauerhaft aufrecht zu erhalten.

In diesem Szenario wird davon ausgegangen, daß in den nächsten 50 Jahren eine Reduzierung des Fleischkonsums um rund 50 % stattfinden wird. Diese Einschränkung beim Fleischverzehr kann aus unterschiedlichen Gründen erfolgen: das Gesundheitsbewußtsein steigt, die ökologischen Folgen intensiver Viehhaltung sowie tierschützerische Aspekte finden stärkere Beachtung. Einerseits erscheint dies eine starke Veränderung zu sein, andererseits liegt der durchschnittliche Fleischkonsum auch dann noch über den aus gesundheitlichen Gründen empfohlenen Werten.

Der Kalorienverbrauch pro Kopf soll auch im Jahr 2050 dem heutigen entsprechen²⁷. Daraus folgt, daß zwar auf der einen Seite weniger Fleisch verzehrt wird, auf der anderen Seite jedoch in entsprechendem Maße mehr pflanzliche Lebensmittel angebaut werden müssen. Dabei wird zur Vereinfachung davon ausgegangen, daß die jeweiligen Anteile dieser Pflanzen den heutigen entsprechen, also keine grundlegende Änderung in der vegetarischen Ernährungsstruktur einsetzt. Beim Milchkonsum wird davon ausgegangen, daß keine Veränderungen gegenüber heute auftreten, die Flächenbindung in diesem Bereich also konstant bleibt.

Die Berechnung erfolgt also folgendermaßen: Durch den um 50 % verminderten Fleischkonsum ergibt sich ein geringerer Futtermittelbedarf und damit eine verminderte Flächenbindung²⁸. Diese freigewordenen Flächen werden nun dazu verwendet, direkt pflanzliche Lebensmittel für den Menschen zu produzieren. Konkret werden die durchschnittlichen Energiegehalte der tierischen und pflanzlichen Produkte (Getreide, Gemüse, Kartoffeln) einander gegenübergestellt. Daraus läßt sich die „neue“ Flächenbindung errechnen, die notwendig ist, um den Kalorienbedarf der deutschen Bevölkerung bei vermindertem Fleischkonsum und ausgewogener Ernährung zu sichern.

Der nachfolgenden Tabelle lassen sich die daraus resultierenden Ergebnisse entnehmen, erneut dargestellt für hohe sowie für niedrige Ertragssteigerungsraten. Aus diesen Ergebnissen wird der enorme Einfluß des Fleischkonsums auf die Flächenbindung deutlich. Durch die Reduzierung um 50 % sinkt die benötigte Fläche in der ersten Variante um über 4 Mio ha, so daß im Jahr 2050 unter den gegebenen Annahmen 6,5 Mio ha für den Anbau

²⁷ Aus ernährungsphysiologischer Sicht wäre es ohne weiteres möglich, diese Annahme wegzulassen, da in der Bundesrepublik Deutschland der von der Deutsche Ernährungsgesellschaft (DEG) empfohlene Bedarf für Energie bei weitem überschritten wird (BECHMANN, 1987).

²⁸ Die verminderte Flächenbindung aufgrund einer geringeren Anzahl an Vieh wird nicht betrachtet, da in der intensiven Massentierhaltung vergleichsweise wenig Land belegt wird und genau diese Tierhaltung durch extensive Haltung substituiert wird.

von Energiepflanzen zur Verfügung stehen könnte. Unterstellt man eine hohe Produktivitätszunahme, läge dieser Wert sogar bei 8,6 Mio ha.

Tab. 8: Flächenbedarf für das Szenario 'Öko-Landbau mit veränderter Ernährung'

Ackerkultur/Tierisches Produkt	Variante 1: niedrige Steigerung Fläche in Mio ha	Variante 2: hohe Steigerung Fläche in Mio ha
Getreide	1,27	0,92
Kartoffeln	0,23	0,17
Gemüse	0,26	0,21
Zuckerrüben	0,24	0,20
Rindfleisch	1,06	0,79
Schweinefleisch	3,00	2,24
Milch	4,20	3,00
Gesamtfläche (incl. 15 % Aufschlag)	11,80	8,66

3.6 Kritische Betrachtung der Szenarien

Bevor auf die eigentlichen Energieträgerpotentiale eingegangen wird, sollen zunächst noch einmal ein paar kritische Bemerkungen zum allgemeinen Vorgehen gemacht werden. Zudem werden alle einflußnehmenden Faktoren gemeinsam aufgeführt und bezüglich ihrer Wirkungsrichtung untersucht.

Wissenschaftliche Analysen können nie alle Aspekte eines Untersuchungsgegenstandes erfassen. Das Thema muß begrenzt und auf seine wesentlichen Mechanismen eingeschränkt werden. Eine Untersuchung kann zudem nie für alle Zeiten gelten, ein angemessener Betrachtungs-zeitraum muß demnach definiert werden wie auch die räumliche Gültigkeit.

In diesem Fall wurde die Untersuchung entsprechend der öffentlichen Diskussion auf das Gebiet der Bundesrepublik Deutschland beschränkt, wengleich in einem nächsten Schritt die Ausweitung auf das Gesamtgebiet der EU wünschenswert und notwendig erscheint.

Die Einflüsse der Wirtschaftsentwicklung und damit möglicherweise einhergehende Konsumveränderungen sind ausgeklammert worden, da diese unseres Erachtens nach nur marginale Auswirkungen (Fehler << 5 %) haben.

Auch wurde nicht betrachtet, zu welchem Zweck die freiwerdenden Flächen tatsächlich genutzt werden. Nicht nur die Nutzung als Energiepflanzen ist denkbar, sondern auch als nachwachsende Rohstoffe zur industriellen Weiterverarbeitung (Kleidung etc.).

Andererseits sind forstwirtschaftliche Flächen nicht einbezogen worden, wo erhebliche Energie-trägerpotentiale bestehen. Auch die Nutzung sonstiger Siedlungsabfälle (Biotonne, Fäkaliennutzung etc.) ist nicht Gegenstand der vorliegenden Untersuchung.

Wie bereits erwähnt, sind Prognosen mit großen Unsicherheiten behaftet. Aus diesem Grund wurden verschiedene Annahmen bezüglich der Ertragsentwicklungen pflanzlicher Produkte getroffen. Durch diese Maßnahme kann ein Feld möglicher Entwicklungen dargestellt werden (verdeutlicht durch die beiden Extrema hohe und niedrige Steigerung), ohne daß sich abschließend sagen läßt, welche die wahrscheinlichere ist.

Eine weitere Einschränkung der Aussagekraft dieser Untersuchung ist die getroffene Auswahl an Energiepflanzen sowie aller sonstigen pflanzlichen Kulturen und tierischen Erzeugnisse. Andererseits sind die wichtigsten Produkte einbezogen worden, so daß eine hinreichende Genauigkeit erreicht wurde.

Im folgenden werden die für die Berechnungen entschiedenen Faktoren kurz erläutert und in einer abschließenden Tabelle in ihren Wirkungen auf die Ergebnisse beurteilt.

Durchschnittliche Erträge

Die Abschätzung der durchschnittlichen Erträge im ökologischen Landbau für die ausgewählten Ackerkulturen basierten auf den Ergebnissen der DOC-Versuche. In diesem Versuch herrscht ein niedriges Düngungsniveau vor. Dies hat zur Folge, daß insbesondere die Erträge der konventionellen Variante nicht die Größenordnung erreichen, die bei intensiver Produktion auf den dortigen Böden (tiefgründiger Lehm) realisierbar wären (Ahl 1997). Möglicherweise könnten die Ertragsminderungen bei ökologischer Produktionsweise demzufolge höher ausfallen als in dieser Betrachtung angenommen.

Andererseits gibt es auch hierzu Gegenstimmen (u.a. Burdick 1998). Demnach erfolgte die Umstellung von konventionellen zu ökologischen Betrieben bisher vornehmlich in benachteiligten Gebieten (mit niedrigen Bodenwertzahlen). Dies bedeutet, daß die Ertragsminderungen für den ökologischen Landbau eher zu hoch angesetzt sind

Beide erwähnten Tendenzen sind somit gegenläufig und heute ist nicht endgültig festlegbar, welche Sichtweise der Realität entspricht.

Getreideeinheiten pro Tier

Die errechnete Menge an Getreideeinheiten pro Tier basiert auf der Grundlage von in der konventionellen landwirtschaftlichen Praxis üblichen Futterrationen. Die Tierernährung der ökologischen Wirtschaftsweise unterscheidet sich grundsätzlich von der konventionellen. Der Einsatz von Getreide ist in der ökologischen Mast geringer, während andererseits Grünfütter stärker zum Einsatz kommt (z.B. Mutterkuhhaltung). Hier ist möglicherweise mit einem gegenüber der konventionellen Mast verringerten Bedarf an Getreideeinheiten pro Tier zu rechnen, in dieser Berechnung blieb der Wert allerdings konstant.

Ertragsminderung bei Getreideeinheiten

Bei der hier unterstellten Berechnung der Getreideeinheiten ergibt sich ein methodischer Fehler. Die Folge ist, daß die 30-prozentige Verringerung der durchschnittlichen Getreideeinheitenproduktion im Öko-Landbau zu hoch angesetzt ist.

Kalorienverbrauch pro Kopf

Entgegen der hier unterstellten Annahme, daß der Kalorienverbrauch pro Kopf über den Zeitraum von 50 Jahren unverändert bleibt, geht Bechmann (1987) davon aus, daß dieser in Zukunft abnehmen wird. Ein Grund liegt in der weiter fortschreitenden Mechanisierung unserer Arbeitswelt, durch die der Anteil der Schwerarbeit an der gesamten zu leistenden Arbeit zurückgeht. Ein weiterer Grund ist im steigenden Durchschnittsalter der Bevölkerung zu finden, da ältere Menschen weniger Energie benötigen als jüngere. Diese Annahmen würden für das dritte Szenario bedeuten, daß die ausgewiesenen Potentiale noch steigen.

Zusammenfassend ist der folgenden Tabelle zu entnehmen, in welcher Richtung diese Faktoren Einfluß auf die Ergebnisse haben könnten. Es ist anzunehmen, daß sich diese Einflüsse entweder ausgleichen oder sogar zu einer Erhöhung der ausgewiesenen Potentiale führen dürften. Die durchgeführten Rechnungen liegen somit auf der sicheren Seite.

Tab. 9: Einflußfaktoren und ihre Wirkungsrichtungen

Einflußfaktor	Errechnetes Flächenpotential nimmt ab	Errechnetes Flächenpotential nimmt zu
Durchschnittliche Erträge	x	x
Getreideeinheiten pro Tier		x
Ertragsminderung bei Getreideeinheiten		x
Kalorienverbrauch pro Kopf		x

3.7 Mengen- und Energiepotentiale

Aus den oben vorgestellten Szenarien sollen 3 Fälle auf ihre Mengen- und Energiepotentiale hin betrachtet werden, wodurch sich wiederum eine Bandbreite möglicher Entwicklungen ergibt:

1. Niedrige Produktivitätssteigerung bei gleicher Ernährung (Szenario 2, Variante 1)
2. Niedrige Produktivitätssteigerung bei veränderter Ernährung (Szenario 3, Variante 1)
3. Hohe Produktivitätssteigerung bei veränderter Ernährung (Szenario 3, Variante 2)

Die für die Berechnung der Mengen- und Energiepotentiale notwendigen Werte sind der nachfolgenden Tabelle zu entnehmen. Zusätzlich werden die durch die Viehhaltung möglichen Biogaspotentiale bestimmt²⁹.

Tab. 10: Eingangswerte zur Energiepotentialberechnung aus Energiepflanzen

²⁹ Zudem ist es natürlich denkbar, Festbrennstoffe zu vergasen. Dieser Schritt soll jedoch aus Übersichtlichkeitsgründen hier nicht weiter betrachtet werden.

	Massenertrag in t/ha	Ölertrag in kg/t Erntegut	Ethanolertrag in kg/t Erntegut	Heizwert in MJ/kg	Energieauf- wand in %
Getreide	11-15			14,3	10,2
Miscanthus	14			17,2	13,1
Kurzumtrieb	12			17,9	7,1
Raps		407		35,8	41,3
Öllein		400		35,8	40
Sonnenblume		550		35,8	40
Kartoffeln			102	27,0	80

Quellen: BMELF 1995, Ebert 1989, El Bassam 1993, Haas/Kramer 1995, Hampl 1997, Kaltschmitt/Wiese 1993, Leible/Wintzer 1993, Strehler 1989, eigene Berechnungen

Zur Erläuterung: Bei Getreide gilt der kleinere Wert (Masseertrag) für die niedrige Variante, der große für die hohe Variante. Der Energieaufwand bezeichnet den Anteil der theoretisch enthaltenen Energie, der notwendig ist für die Umwandlung in Endenergie.

Bei Miscanthus und Kurzumtrieb ist keine Variation im Masseertrag zu erkennen, da hier aufgrund nicht ausreichender Kenntnisse bezüglich der öko-systemaren Verträglichkeit (s. Kap. 2.2.1) von den derzeitigen Ertragsersparungen ausgegangen wird.

Mit Hilfe dieser Werte lassen sich beispielsweise die Energiepotentiale für den zweiten Fall (Szenario 3, Variante 1) berechnen, wie sie der Abbildung 3 zu entnehmen sind. Die dort angegebenen Potentiale sind nicht additiv zu verstehen, sondern schließen einander aus. Um einen Vergleich zwischen verschiedenen Kulturen vornehmen zu können, liegt diesen Daten die Annahme zugrunde, daß ausschließlich eine Kultur in die Fruchtfolgen integriert wird und damit auch nur ein Produkt erzeugt wird. Also entweder Festbrennstoffe über Getreide, Miscanthus oder Kurzumtrieb oder Flüssigbrennstoffe über Raps, Öllein, Sonnenblumen oder Kartoffeln.

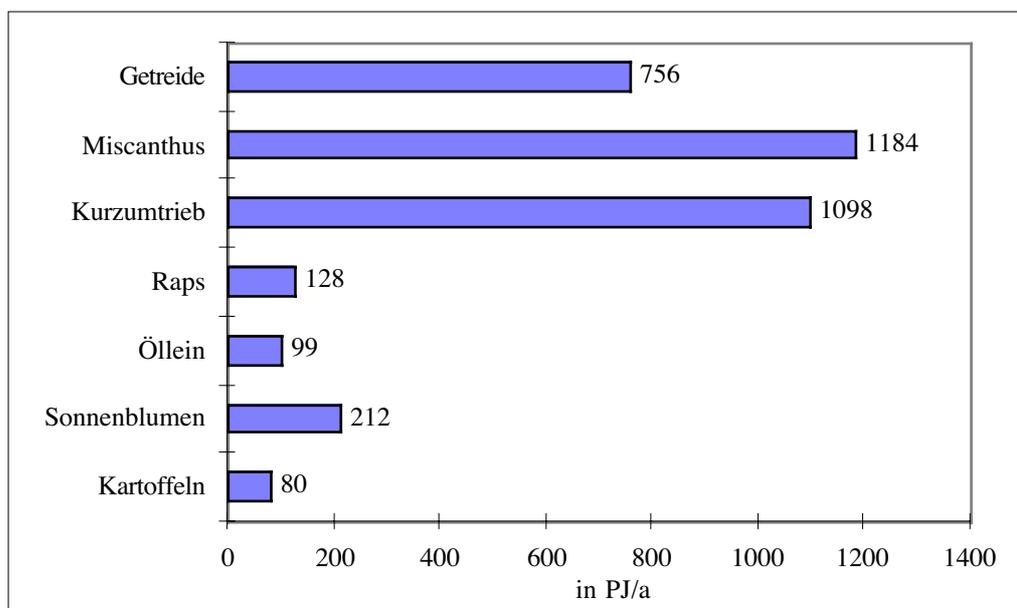


Abb. 3: Energiepotentiale durch Energiepflanzen für den Fall 'Niedrige Produktivitätssteigerung bei veränderter Ernährung' (Szenario 3, Variante 1)

Anhand eines Vergleichs der abgebildeten Potentiale ist zu erkennen, daß die Nutzung von Festbrennstoffen deutliche energetische Vorteile besitzt. Der Grund ist in der aufwendigen Prozeßkette zur Erzeugung flüssiger Energieträger zu finden (s.a. Leible/Wintzer 1993).

In Tabelle 11 sind auch die Ergebnisse der beiden anderen Fälle dargestellt, wobei diese eher als theoretische Extremwerte anzusehen sind. Der oben visualisierte Fall 2 liefert aus unserer Sicht die am besten begründbaren Ergebnisse.

Tab. 11: Energiepotentiale durch Energiepflanzen ausgewählter Szenarien (in PJ/a)

	Fall 1	Fall 2	Fall 3
Getreide	151	756	1636
Miscanthus	237	1184	1865
Kurzumtrieb	220	1098	1729
Raps	26	128	285
Öllein	20	99	179
Sonnenblumen	42	212	442
Kartoffeln	16	80	170

Zusätzlich läßt sich noch Energie aus der organischen Substanz gewinnen, welche bei der Nutztierhaltung anfällt. Dabei werden die Verluste durch den Weidegang von Kühen berücksichtigt³⁰ wie auch der Energiebedarf der Umwandlungsanlage. Folgende Werte werden zur Berechnung herangezogen:

Tab. 12: Eingangswerte zur Biogasberechnung

	Organische Substanz in kg/Tier/a	Gasausbeute in m ³ /kg org. Sub.	Heizwert MJ/m ³	Energieaufwand in %
Rinder	800	0,37	21,5	25
Schweine	110	0,5	21,5	25
Milchkühe	790	0,2	21,5	25

Quelle: Kaltschmitt/Wiese 1993, eigene Berechnungen

Auch die Potentialberechnung muß wieder getrennt für die Varianten mit und ohne Veränderung der Ernährungsgewohnheiten bilanziert werden. Dabei ergeben sich im Fall 1 (ohne Veränderung der Ernährung) Biogaspotentiale in der Höhe von 87 PJ/a, in den beiden anderen Fällen von 51 PJ/a. Diese geringeren Werte sind auf den verminderten Fleischkonsum und damit auf die verminderte Viehhaltung zurückzuführen.

Zusammenfassend läßt sich damit sagen, daß sich im Falle einer geringen Produktivitätssteigerung, bei veränderten Ernährungsgewohnheiten (also Fall 2) und dem Anbau von Getreide ein Biomasse- und Biogaspotential von jährlich über 800 PJ ergibt. Verglichen mit dem deutschen Endenergieverbrauch von 1995 (9.200 PJ) entspricht dies einem Anteil von etwa 9 %.

³⁰ Für Milchkühe wurde eine Stallhaltung von 165 Tagen im Jahr angenommen.

Unter Einbeziehung der heutigen forstwirtschaftlichen Potentiale (Enquete 1995), ließe sich das Biomassepotential nochmal um knapp 2 % des Endenergieverbrauchs steigern.

Energieträger aus nachwachsenden Rohstoffen werden damit auch in Zukunft ein begrenztes Gut bleiben und sollten so effizient und effektiv wie möglich verwendet werden. Durch eine Konzentration aller Forschungstätigkeiten auf die ökologische Landwirtschaft sowie auf die Verbesserung der Umwandlungswirkungsgrade in der gesamten Bioenergieträgerkette können jedoch auch noch höhere Potentiale erschlossen werden.

4 Zusammenfassung

Die Nutzung von Biomasse steht an der Schnittstelle von zwei der dringendsten umweltpolitischen Problemfeldern. Einerseits belastet der Energiebereich mit den daraus resultierenden Emissionen unsere Ökosysteme in höchstem Grade (Klimaproblematik etc.). Und andererseits besitzt die heute vornehmlich praktizierte Landbewirtschaftungsform negative Auswirkungen auf Boden, Wasser und Tierwelt (Bodendegradation, Nitratauswaschungen, Verringerung der Biodiversität etc.). Beide Felder wirken direkt auf den Menschen zurück und müssen gesamtsystemar betrachtet werden. Der Einsatz von Biomasse darf demnach nicht nur unter energiesystemaren und klimatologischen Gesichtspunkten betrachtet werden, sondern in gleicher Weise unter Nachhaltigkeitsaspekten im landwirtschaftlichen Bereich.

In dieser Untersuchung soll bei unterschiedlichen Annahmen geklärt werden, ob und in welcher Höhe Energiepotentiale aus landwirtschaftlicher Biomasse in den nächsten 50 Jahren unter zukunftsfähigen Bedingungen zu erwarten sind. Zukunftsfähig bedeutet in diesem Sinne, eine Landwirtschaftsform zu unterstellen, die öko-systemaren Anforderungen gerecht wird. Dies leistet bisher nur der Landbau, der sich an den „Rahmenrichtlinien des ökologischen Landbaus“ der Arbeitsgemeinschaft Ökologischer Landbau (AGÖL) oder zumindest an den entsprechenden EU-Richtlinien orientiert.

Nicht eingeschlossen sind in dieser Studie die Nutzungen von forstwirtschaftlichen Reststoffen, von Siedlungsabfällen jeglicher Art und von Industriereststoffen. In jedem dieser Bereiche liegen ungeachtet dessen erhebliche Potentiale vor, die jedoch aus anderen Studien entnommen werden können (Enquete 1994 und 1995, Kaltschmitt/Wiese 1993 etc.). Untersucht worden sind daher einerseits die Möglichkeiten des Anbaus von Energiepflanzen im ökologischen Landbau sowie die Nutzung von landwirtschaftlichen Reststoffen.

Die Hauptreststoffe, die für eine energetische Nutzung zur Debatte stehen, sind Stroh und Biogas aus tierischen Exkrementen. Eine Verbrennung von Stroh wird unter der Prämisse des flächendeckend ökologischen Landbaus ausgeklammert (geringes Strohaufkommen, Nährstoffverlust, Notwendigkeit des Einstreus bei artgerechter Tierhaltung). Dies ist eine sehr strenge Restriktion und könnte unter gewissen Bedingungen „aufgeweicht“ werden, so daß auch noch Strohpotentiale erschließbar wären. Eingang in diese Betrachtung findet hingegen die Vergasung von tierischen Exkrementen, also die sog. Methanvergärung.

Als mögliche Energieträger wurden folgende Nutzpflanzen umfassend bewertet:

- Getreide, *Miscanthus sinensis* und Kurzumtriebsplantagen als Festbrennstoffe
- Raps, Sonnenblumen, Lein, Stärkekartoffeln und Mais zur Umwandlung in flüssige Brennstoffe

Bewertet werden diese hinsichtlich ihrer Ansprüche an Klima und Witterung, Boden und Fruchtfolge sowie Nährstoffversorgung und Unkrautregulierung. Einflüsse auf den Standort beinhalten u.a. Parameter wie Erosionsrisiko, Auswaschungsgefährdung von Stickstoff, unkrautunterdrückende bzw. -fördernde und phytosanitäre Wirkungen. Tabelle 12 gibt die Ergebnisse im Überblick wieder (entspricht Tab. 1).

Tab. 12: Zusammenfassende Bewertung möglicher Energieträger

Frucht	Anspruch an Klima/ Witterung	Anspruch an den Boden	Anspruch an die Fruchtfolge	Anspruch an Nährstoffversorgung/ Unkrautregulierung	Einfluß auf den Standort
Getreide	gering	gering	flexibel einzugliedern	mittel	mittel
Miscanthus Sinensis	hoch	mittel	schwierig einzugliedern	unzureichende Kenntnisse	unzureichende Kenntnisse
Kurzumtrieb	gering	gering - hoch	schwierig einzugliedern	unzureichende Kenntnisse	unzureichende Kenntnisse
Raps	hoch	mittel	hoch	hoch	mittel
Sonnenblumen	hoch	mittel	hoch	mittel	positiv
Öllein	mittel	gering	flexibel einzugliedern	gering	positiv
Kartoffeln	mittel	gering	mittel	mittel	mittel
Mais	hoch	hoch	hoch	hoch	mittel - negativ

Quelle: Beste 1998, verändert nach Lange 1998

Bei einem eventuellen Anbau von Energiepflanzen wird jedoch nicht von einer monokulturellen Nutzung ausgegangen, sondern von einer Eingliederung in nachhaltige Fruchtfolgen, wie sie in Abschnitt 2.3 vorgestellt sind. Die gesamte landwirtschaftliche Nutzfläche würde demnach auch zukünftig zur Nahrungsmittelproduktion genutzt, wobei einzelne Fruchtfolglieder (von wechselnden Feldern) als Energieträger verwendet würden.

Im nächsten Schritt erfolgt die Ermittlung von Mengen- und Energieträgerpotentialen (siehe Kapitel 3). Im Gegensatz zu fossilen Brennstoffen wie Kohle oder anderen erneuerbaren Energien wie Solarstrahlung können bei Biomasse die energetischen Potentiale nicht direkt aus den vorhandenen natürlichen Ressourcen in Verbindung mit dem heutigen Stand der Nutzungstechnik (beispielsweise von Kohlekraftwerken) bestimmt werden. Die für die Energieträgerproduktion zur Verfügung stehenden Biomasseressourcen hängen zudem von der Bevölkerungszahl, der Ernährungsstruktur und der Produktivität der Landwirtschaft ab - also von Faktoren, die sich einer ausschließlich energetischen Betrachtung entziehen.

Um diese unterschiedlichen Einflüsse in ihren Auswirkungen fassen zu können, wurden verschiedene Szenarien „durchgespielt“. Bei all diesen Szenarien sind unterschiedliche Annahmen bezüglich der oben genannten Faktoren unterstellt, auf ihre Plausibilität hin überprüft und in ihren möglichen Folgen berechnet und dargelegt worden. Die Szenarien sind folgendermaßen bezeichnet:

1. Öko-Landbau mit heutiger Produktivität
2. Öko-Landbau mit gesteigerter Produktivität
3. Öko-Landbau mit veränderter Ernährung

Auch mit dieser Untersuchungstechnik müssen Einschränkungen gemacht werden bezüglich des Untersuchungsgegenstandes und der einbezogenen Aspekte. Der Untersuchungsraum ist in der vorliegenden Analyse so eingegrenzt worden, daß er die aktuellen Diskussionen in Deutschland wiedergibt:

- Landwirtschaftliche Flächen auf dem Gebiet der Bundesrepublik Deutschland werden betrachtet - die Forstwirtschaft ist hier ausgenommen.
- Die Ernährungssicherung der Bevölkerung erfolgt durch heimische Flächen (abgesehen von Importen von Reis, Kaffee, Zitrusfrüchten usw.).
- Die Bewirtschaftungsform ist zu 100% ökologischer Landbau.
- Eine Alternativnutzung von Biomasse als Industrierohstoff (zur Herstellung von Kleidung etc.) wird ausgeklammert.
- Eine Alternativnutzung freiwerdender Flächen wird ebenfalls ausgeklammert.
- Technisch-ökologischen Potentiale werden ermittelt, Aussagen über ökonomische Aspekte erfolgen nicht.
- Der Betrachtungszeitraum geht bis 2050.

Wie zu erkennen ist, ergeben sich dadurch teilweise unnötig 'harte' Einschränkungen. So sollte beispielsweise innerhalb eines europäischen Rahmens auch die Landwirtschaft europäisch gesehen werden. Andererseits kann auch argumentiert werden, daß jedes Land zunächst versuchen sollte, sich möglichst selber mit Lebensmitteln versorgen zu können. Dadurch würden sich zudem energieintensive oder ethisch fragwürdige Transporte von Nahrungsmitteln und Nutztieren erübrigen. Darüber hinaus würden die Bioenergiepotentiale dort genutzt, wo sie anfallen und müßen ebenfalls nicht über große Entfernungen transportiert werden. Aufgrund der schwierigen ökonomischen Verhältnisse ist dies eine durchaus sinnvolle und realitätsnahe Einschränkung. Wie auch immer der Leser zu den gemachten Einschränkungen stehen mag, sie rufen aus energetischer Sicht auf jeden Fall die Ergebnisse mit den niedrigsten Potentialen hervor - so wie auch alle weiteren Annahmen in Kapitel 3. Dies muß bei der Betrachtung der unten dargestellten Werte unbedingt berücksichtigt werden.

Das erste Szenario (**Öko-Landbau mit heutiger Produktivität**) legt die Annahme zugrunde, daß mit dem heutigen Stand des Wissens und den heutigen Bedarfsstrukturen auf der gesamten landwirtschaftlichen Nutzfläche der Bundesrepublik der ökologische Landbau heute bzw. im Jahr 2050 praktiziert wird. Diese Betrachtung beinhaltet eine Abschätzung der zu erwartenden Erträge der pflanzlichen und tierischen Produktion, die sich nach einer Umstellung beim derzeitigen Stand der Technik ergeben. Die Erträge werden dem heutigen Bedarf an Nahrungsmitteln aus dem pflanzlichen und tierischen Bereich gegenübergestellt. Daraus läßt sich errechnen, welche Fläche zur Deckung des Nahrungsmittelverbrauchs nach einer Umstellung auf ökologischen Landbau benötigt würde.

Zwei wesentliche Ergebnisse lassen sich aus diesem Szenario ableiten: Bei sofortiger Umstellung auf ökologischen Landbau wäre der Gesamtflächenbedarf (25 Mio ha) enorm hoch und läge deutlich über der zur Verfügung stehenden landwirtschaftlichen Nutzfläche von rund 17 Mio ha. Aber auch bei Zugrundelegen der Bevölkerungsprognose für das Jahr 2050 liegt die benötigte Fläche allein für die Deckung des Lebensmittelbedarfs der bundesdeutschen Bevölkerung zu hoch. Es wird somit deutlich, daß unter den getroffenen Annahmen der Anbau von Energieträgern nicht verantwortbar wäre.

Aus den obigen Ergebnissen darf jedoch nicht geschlossen werden, daß der Öko-Landbau Deutschland nicht mit ausreichend Nahrungsmitteln versorgen könnte. Der größte Teil der

Flächenbindung (über 85 %) entsteht durch den Konsum von Milch- und vor allem Fleischprodukten, da in dieser Berechnung implizit vorausgesetzt wurde, daß die Futtermittel ebenfalls in Deutschland produziert würden. Daraus ist vornehmlich folgendes abzuleiten: der Fleischkonsum ist erstens eindeutig zu hoch, da wir uns nicht dauerhaft selber versorgen können. Zweitens leben wir heute u.a. auf Kosten von Ländern, die uns mit Futtermitteln beliefern, zum Teil aber selber nicht genügend Nahrungsmittel für die eigene Bevölkerung produzieren.

Das Szenario **Öko-Landbau mit gesteigerter Produktivität** unterstellt, daß Ertragssteigerungen nicht nur in der konventionellen Landwirtschaft stattfinden, sondern auch in der ökologischen, welche noch eine Reihe von nicht ausgeschöpften Potentialen besitzt. Dies liegt darin begründet, daß Forschung und Entwicklung in diesem Bereich jahrzehntelang vernachlässigt kaum existent waren und hingegen auf die konventionelle Bewirtschaftungsform ausgerichtet worden sind. Die potentiellen Steigerungen werden nach züchterischen, technischen und ökologischen Aspekten differenziert. Da es schwierig ist, abzuschätzen, in welcher Höhe diese Ertragssteigerungen erfolgen, sind 2 Varianten gerechnet worden um die obere und die untere Grenze aller geäußerten Erwartungen wiederzugeben. Gestützt werden diese Abschätzungen durch bestehende Studien und im Rahmen dieser Untersuchung getätigte Expertenbefragungen.

Beispielsweise ergibt sich damit für Getreide in den niedrigen Variante eine Steigerung von heute rund 41 auf 53 dt/(ha•a) im Jahr 2050 und in der hohen Variante auf 74 dt/(ha•a). Auch hier sind wieder eine Reihe von Annahmen getroffen worden, die die Ergebnisse beeinflussen (s. Kap. 3.4. und 3.6).

Bei der niedrigen Variante ergeben sich Flächenpotentiale für den Anbau nachwachsender Energieträger von gut 1 Mio ha, bei der hohen Variante rund 4,5 Mio ha. Da jedoch Zweifel daran bestehen, ob die in der hohen Variante unterstellten Produktivitätssteigerungen einerseits tatsächlich möglich und andererseits auch wünschenswert, d.h. ökologisch verträglich, wären, halten wir die unteren Werte bzw. Werte, die in der unteren Hälfte der Ergebnisse liegen, für realistischer. Die Flächen lassen sich nun mit den zuvor bewerteten Energiepflanzen nutzen. Im Falle des Anbaus von Getreide (hier: Triticale) zur Ganzpflanzennutzung ergäbe sich in der unteren Variante ein Endenergiepotential (inklusive Biogas) von 240 PJ/a, was in etwa 2,5 % des Endenergieverbrauchs der BRD im Jahr 1995 entspräche.

Szenario 3, **Öko-Landbau mit veränderter Ernährung**, beinhaltet neben zu erwartenden Ertragssteigerungen die Möglichkeit einer Veränderung des Konsumverhaltens in der Bevölkerung. Parallel zur Umstellung der Landwirtschaft auf eine umweltverträgliche Wirtschaftsweise wird sich wahrscheinlich auch ein zunehmendes Umwelt- und Gesundheitsbewußtsein in der Bevölkerung entwickeln, wie es heutzutage besonders bei jungen Müttern zu beobachten ist. Dieses könnte zur Folge haben, daß beispielsweise der Fleischkonsum insgesamt zurückgeht. Die Veränderung der Konsumgewohnheiten wird gekoppelt mit den unterschiedlichen Varianten der Produktivitätssteigerung aus dem zuvor besprochenen Szenario.

Unterstellt wird ein Rückgang des Fleischkonsums um 50 % bei gleichzeitiger Deckung des entsprechenden Kalorienbedarfs durch pflanzliche Nahrungsmittel. Die Flächenbindung durch die Fleischproduktion sinkt somit, die Bindung durch die Produktion pflanzlicher Lebensmittel steigt. Aus einer Kalorien- und Flächenbetrachtung heraus, ist die Nahrungskette Pflanze-Mensch jedoch ungleich effizienter als die Kette Pflanze-Tier-Mensch (Faktor 7 bis 30, Lünzer 1997). Dies spiegelt sich auch in den Ergebnissen wieder: Unter Zugrundelegung einer niedrigen Produktivitätssteigerung ergeben sich jetzt Flächenpotentiale von über 4 Mio ha (im Gegensatz von 1 Mio ha im zweiten Szenario), bei der hohen Variante von 6,5 Mio ha.

Daraus errechnen sich Energiepotentiale zwischen 800 und 1.700 PJ/a (inklusive Biogas). Diese absoluten Zahlen entsprechen 9 % bzw. 19 % des heutigen Endenergiebedarfs. Auch hier sei wieder angemerkt, daß nach unserer Meinung - im Rahmen der unterstellten Annahmen - Anteile von 9 bis 14 % als realistisch einzuschätzen sind.

Die ausgewiesenen Potentiale erscheinen zunächst nicht besonders 'üppig'. Allerdings sei hier nochmal darauf hingewiesen, daß die Annahmen im Zweifelsfall ungünstig gesetzt worden sind und in Zusammenhang mit einer notwendigen deutlichen Effizienzsteigerung im gesamten bundesdeutschen Energiesystem (Stichwort Effizienzrevolution) der prozentuale Anteil deutlich steigen würde. Zudem ist noch das Energieeinsparpotential von 250 bis 300 PJ/a zu beachten, welches sich bei einer konsequenten Einführung des ökologischen Landbaus ergäbe. Damit könnten biogene Energieträger im Rahmen einer zukunftsfähigen Landwirtschaft eine wichtige Funktion in einem Energiesystem übernehmen, welches auf der Nutzung erneuerbarer Energien aufbaut. Auch seien in diesem Zusammenhang nochmals die erheblichen Potentiale im forstwirtschaftlichen und industriellen Bereich sowie bei den Siedlungsabfällen erwähnt. Darüber hinaus sind im europäischen Rahmen weitere Potentiale zu erwarten.

Abschließend ist somit folgendes aus den getätigten Untersuchungen abzuleiten: um den erwähnten zwei umweltpolitischen Problembereichen synergetisch zu begegnen, sollte heute (!) damit begonnen werden, einerseits die Entwicklung zum ökologischen Landbau und andererseits die Nutzung von Bioenergieträgern zu forcieren - aus pragmatischen Gründen zunächst auch in der konventionellen Landwirtschaft. Die mittel- und langfristige Biomassenutzung ohne Umstellung der landwirtschaftlichen Bewirtschaftungsform wäre jedoch nur eine Verlagerung und Verschärfung von Umweltauswirkungen. Andererseits ist nach heutigem Stand der Technik eine Lösung unserer Klimaproblematik ohne die Einbeziehung biogener Energieträger ebenfalls nicht leistbar.

Auch aus ökonomischer Sicht ist festzustellen, daß die energetische Nutzung von Biomasse heute eine der Technologien von erneuerbaren Energien darstellt, die einer Wirtschaftlichkeit im Vergleich zu fossilen Systemen am nächsten kommt. Entsprechende Förderungs- und Markteinführungsprogramme sollten demnach einen Biomasseschwerpunkt besitzen. Zudem ist - trotz schlechter Rahmenbedingungen und fehlender politischer Unterstützung - der Bereich der ökologischen Landwirtschaft bereits heute ein Wachstumsmarkt, wenn auch auf noch sehr niedrigem Niveau. Auch hier fehlen eindeutige politi-

sche Zielvorgaben mit entsprechender Umsteuerung, um diesen Trend in notwendiger Weise zu unterstützen.

Ein weiterer wichtiger Punkt, der sich aus dieser Untersuchung ergibt, ist die langfristig erforderliche Änderung heutiger Ernährungsgewohnheiten. Auch hier ergäben sich erhebliche Synergieeffekte, da ein verminderter Fleischkonsum aus einer Reihe von Gründen positive Effekte besitzt.

Literaturverzeichnis

- Ammer, U.; Utschnick, H.; Anton, H.: *Die Auswirkungen von biologischem und konventionellem Landbau auf Flora und Fauna*. Fortw. Cbl. 107: 1988
- Bechmann, A.: *Landbau-Wende: Gesunde Landwirtschaft - Gesunde Ernährung*. Fischer-Verlag. Frankfurt am Main: 1987
- Bechmann, A.; Meier-Schaidnager, R.: *Zukunftsfähige Landwirtschaft - Ökologischer Landbau flächendeckend*. Kurzfassung. Institut für Ökologische Perspektiven, Barsinghausen: 1996
- Beste, A.: *Mündliche Auskünfte*, Stiftung Ökologie und Landbau, Bad Dürkheim: 1998
- Bioland: *Ökologischer Landbau und Wasserschutz*. Ergebnisse der Fachtagung vom 21.2.1995, Hannover: 1996
- BLV: *Landwirtschaft - Lehrbuch für Landwirtschaftsschulen*, Tierische Erzeugung, Landwirtschaftsverlag, München: 1994
- BMELF: *Strategien für eine umweltverträgliche Landwirtschaft*, Schriftenreihe A, Angewandte Wissenschaft 414, Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten (Hg.), Landwirtschaftsverlag, Münster: 1992
- BMELF: *Technikfolgenabschätzung zum Thema Nachwachsende Rohstoffe*. Schriftenreihe A, Angewandte Wissenschaft, Sonderheft, Landwirtschaftsverlag, Münster: 1993
- BMELF: *Die Stellung der Biomasse im Vergleich zu anderen erneuerbaren Energieträgern aus ökologischer, ökonomischer und technischer Sicht*. Schriftenreihe Nachwachsende Rohstoffe, Band 3, Landwirtschaftsverlag, Münster: 1995
- BMELF: *Agrarbericht*. Bonn: 1997
- Bogner, H.: *Rindfleischproduktion*. Verlag Eugen Ulmer, Stuttgart: 1978
- Bossel et al.: *Technikfolgenabschätzung für die landwirtschaftliche Produktion*, Institut für Systemanalyse und Prognose, Hannover: 1986
- Braun, J.: *Flächendeckende Umstellung der Landwirtschaft auf ökologischen Landbau als Alternative zur EU-Agrarreform: Dargestellt am Beispiel Baden-Württemberg*. In: *Agrarwirtschaft, Sonderheft 145*, Verlag Alfred Strothe, Frankfurt a.M.: 1995
- BUND/Miserior: *Zukunftsfähiges Deutschland*. Studie des Wuppertal Instituts für Klima Umwelt Energie GmbH. Birkhäuser Verlag, Basel/Boston/Berlin: 1996
- Burdick, B.: *Persönliche Mitteilung*. Wuppertal Institut für Klima, Umwelt, Energie. Wuppertal: 1998
- Burger, F.: *Praxiserfahrungen bei der Bewirtschaftung von Kurzumtriebsflächen*. In: *Ta-gungsband „Schnellwachsende Baumarten“*, 25. Januar 1996, Neustadt an der Waldnaab. CARMEN e.V. (Hg.), Rimpar/Würzburg: 1996, S. 21-29
- Constant et al.: *Biogas: end-use in the european community*. Commission of the European Communities Directorate-General for Energy (Hg.), Elsevier applied science, London/New York: 1989
- Cramer, N.: *Raps: Züchtung, Anbau und Vermarktung von Körnerraps*. Ulmer Verlag, Stuttgart: 1990

- Dambroth, M.: *Biomasse als Energiequelle - Züchtung, Anbau und Ertrag*. In: Energie aus Biomasse - eine Chance für die Landwirtschaft, Flaig u. Mohr (Hg.), Springer-Verlag, Berlin/Heidelberg: 1993, S. 51-66
- Dimitri, L.: *Bewirtschaftung schnellwachsender Baumarten im Kurzumtrieb zur Energiegewinnung*. In: Schriften des Forschungsinstitutes für schnellwachsende Baumarten, Band 4, Hann. Münden: 1988
- Durst et al.: *Der Regenwurm als Wachstumsfaktor*. Mitteilungen DLG 17: 1988
- Ebert, U.: *Öllein*. In: Ökoring Beratungsordner, Stand 12/96, Fallingb. Postel: 1989
- Eichenseer, X.: *Erfahrungen im Anbau von Miscanthus*. In: Tagungsband zum 2. Fachgespräch Miscanthus vom 1. Februar 1994, CARMEN e.V. (Hg.), Rimpf/Würzburg: 1994, S. 10-12
- El Bassam, N.: *Möglichkeiten und Grenzen der Bereitstellung von Energie aus Biomasse*. In: Landbauforschung Völkenrode, 43. Jahrgang, Heft 2/3: 1993, S. 101-111
- Enquete-Kommission „Schutz der Erdatmosphäre“ des 12. deutschen Bundestages (Hg.): *Schutz der grünen Erde. Klimaschutz durch umweltgerechte Landwirtschaft und Erhalt der Wälder*. Economica, Bonn: 1994
- Enquete-Kommission „Schutz der Erdatmosphäre“ des 12. deutschen Bundestages (Hg.): *Mehr Zukunft für die Erde. Nachhaltige Energiepolitik für dauerhaften Klimaschutz*. Economica, Bonn: 1995
- Fachverband der Futtermittelindustrie (Hg.): *Mischfuttermitteltabellarium 1995 (1993/94)*. Bonn: 1995
- Forschungsinstitut für schnellwachsende Baumarten (Hg.): *Bewirtschaftung schnellwachsender Baumarten im Kurzumtrieb auf landwirtschaftlichen Flächen*. Merkblatt 11, Hann. Münden: 1996
- Friebe, B.: *Arten- und Biotopschutz durch Organischen Landbau*. In: Naturschutz durch ökologischen Landbau. Weiger/Willer (Hg.). Deukalion, Holm: 1997
- Haas, G.; Geier, U.: *Nachwachsende Energieträger im Organischen Landbau?* In: Beiträge zur 3. Wissenschaftstagung zum Ökologischen Landbau, 21.-23. Februar 1995, Universität Kiel. Wissenschaftlicher Fachverlag, Gießen: 1995
- Haas, G.; Köpke, U.: *Vergleich der Klimarelevanz ökologischer und konventioneller Landbewirtschaftung*. In : Enquete-Kommission „Schutz der Erdatmosphäre“ des 12. Deutschen Bundestages (Hg.) Studienprogramm Landwirtschaft Teilband II, Economica-Verlag, Bonn: 1994
- Haas, G.; Kramer, L.: *Ölsaaten im Organischen Landbau: Perspektiven in Anbau und Ökonomie*. In: Beiträge zur 3. Wissenschaftstagung zum Ökologischen Landbau, 21.-23. Februar 1995, Universität Kiel. Wissenschaftlicher Fachverlag, Gießen: 1995, S. 209-212
- Haber, W.: *Ökologische Bewertung von nachwachsenden Rohstoffen*. In: 5. Symposium „Im Kreislauf der Natur - Naturstoffe für die moderne Gesellschaft, Tagungsband. CARMEN e.V., Rimpf/Würzburg: 1996, S. 23-26
- Hartmann, H.; Strehler, A.: *Die Stellung der Biomasse im Vergleich zu anderen erneuerbaren Energieträgern aus ökologischer, ökonomischer und technischer Sicht*. BMELF (Hg.): Schriftenreihe Nachwachsende Rohstoffe, Band 3, Landwirtschaftsverlag, Münster: 1995

- Herrmann, G.; Plakolm, G.: *Ökologischer Landbau: Grundwissen für die Praxis*. Österreichischer Agrarverlag, Wien: 1991
- Herzog, H.: *Bodenkundlich-ökologische Aspekte des Miscanthus Anbaus*. In: Symposium Miscanthus. BMELF (Hg.): Schriftenreihe Nachwachsende Rohstoffe, Band 4, Landwirtschaftsverlag, Münster: 1995, S. 51-60
- Hugger, H.: *Sonnenblumen: Züchtung, Anbau, Verarbeitung*. Ulmer-Verlag, Stuttgart: 1989
- IBS (Hg.): *Bevölkerungsprojektionen für das vereinte Deutschland bis zum Jahr 2100*. Hg: Enquete-Kommission Schutz der Erdatmosphäre. Studienprogramm Energie. Bonn: Economica, 1995
- IFOAM (Hg.): *Sustainable Agriculture put into Practice*. Tholey-Theley: 1997
- Kaltschmitt, M.; Wiese, A.: *Erneuerbare Energieträger in Deutschland: Potentiale und Kosten*. Springer-Verlag, Berlin/Heidelberg: 1993
- Kaltschmitt, M.; Reinhardt, G. (Hg.) : *Nachwachsende Energieträger - Grundlagen, Verfahren, ökologische Bilanzierung*. Vieweg, Braunschweig: 1997
- Karafyllis, N.: *Die energetische Nutzung von Getreidepflanzen - Akzeptanz und Ethik*. OTTI-Technologiekolleg (Hg.), 4. Symposium Biobrennstoffe, 12.9.1995, FH Regensburg: 1996
- Köpke, U.: *Grundlagen der landwirtschaftlichen Pflanzenproduktion*. In: Handbuch des Pflanzenbaus, Band 1, Ulmer-Verlag: 1997
- Lange, A.M.: *Möglichkeiten der Bereitstellung von Energieträgern bei flächendeckendem Öko-Landbau*. Diplomarbeit, Institut für Bodenkunde, Georg-August-Universität Göttingen: 1998
- Leible, L.; Wintzer, D.: *Energiebilanzen bei nachwachsenden Energieträgern*. In: Energie aus Biomasse - eine Chance für die Landwirtschaft, Flaig u. Mohr (Hg.), Springer-Verlag, Berlin/Heidelberg: 1993, S. 67-84
- Lünzer, I.: *Energieeinsparung durch ökologische Agrar- und Eßkultur*. . In: Naturschutz durch ökologischen Landbau. Weiger/Willer (Hg.). Deukalion, Holm: 1997
- Neuerburg, W.; Padel, S.: *Organisch-biologischer Landbau in der Praxis: Umstellung, Pflanzenbau und Tierhaltung*. BLV Verlagsgesellschaft, München: 1992
- Oehmichen, J.: *Pflanzenproduktion*. Band 2: Produktionstechnik. Verlag Paul Parey, Berlin/Hamburg: 1996
- Pacyna, H.: *Agrilexikon*. Informationsgemeinschaft für Meinungspflege und Aufklärung e.V. 7. Auflage, Hannover: 1988
- Perl, J.: *Energie aus Biomasse*. FIZ Karlsruhe (Hg.) Gesellschaft für wissenschaftlich-technische Information mbH, Verlag TÜV Rheinland, Köln: 1991
- Pröpster, M.: *Miscanthus sinensis giganteus: Anbau, Pflege, Ernte und aus der Praxis resultierende Problemansprachen und Problemlösungen*. In: Tagungsband zum 2. Fachgespräch Miscanthus vom 1. Februar 1994, CARMEN e.V. (Hg.), Rimpfar/Würzburg: 1994, S. 21.33
- Quade, H.: *Faustzahlen für Landwirtschaft und Gartenbau*. Hydro Agri Dülmen GmbH (Hg.), 12. Auflage, Landwirtschaftsverlag, Münster: 1993

- RSU: *Umweltprobleme der Landwirtschaft - Sachbuch Ökologie*. Rat von Sachverständigen für Umweltfragen (Hg.). Metzler-Poeschel Verlag, Stuttgart: 1992
- Schirmer: Tagungsband zum 2. Fachgespräch Miscanthus vom 1. Februar 1994, CARMEN e.V. (Hg.), Rimpf/Würzburg: 1994, S. 7-10
- Spiess, E. et al.: *Entwicklung der Erträge von ausgewählten Kulturen im langjährigen Systemvergleichsversuch DOK*. In: Forschung im ökologischen Landbau. Zerger, U. (Hg.) SÖL-Sonderausgabe 42, Bad Dürkheim: 1993, S. 121-128
- SÖL: Söl-Info. Stiftung Ökologie und Landbau: Bad Dürkheim
- UBA: *Nachhaltiges Deutschland*. Erich Schmidt Verlag, Berlin: 1997
- Wolters, D.: *Role and Problems of Biomass in Future Energy Systems*, in FAO (Hg.) Documentation of a symposium „Production, Technology and Ecology of Fibrous Plants“, Poznan, Poland, 1998

Persönliche Mitteilungen

- Abel, H. August 1997: Uni Göttingen, Institut für Tierphysiologie und Tierernährung, Kellnerweg 6, 37073 Göttingen, Tel.: 0551 / 39-3330 oder 3332
- Ahl, C. 1997: Universität Göttingen, Institut für Bodenwissenschaften, Von-Sieboldt-Str. 4, 37073 Göttingen, Tel.: 0551 / 39-5502
- Gerken, M. 15.9.1997: Uni Göttingen, Institut für Tierzucht und Haustiergenetik, Albrecht-Thaer-Weg 3, 37073 Göttingen, Tel.: 0551 / 39-5603
- Glodek, P. 15.9.1997: Uni Göttingen, Institut für Tierzucht und Haustiergenetik, Albrecht-Thaer-Weg 3, 37073 Göttingen, Tel.: 0551 / 39-5601
- Haberlach, P. 30.7.1997: Ober-Gleener Str. 1, 3620 Heimertshausen
- Hampl, U. August 1997: Stiftung Ökologie und Landbau, 67098 Bad Dürkheim
- Pierr, H.-P. 5.10.1997: ZALF, Institut für Landnutzungssysteme, Wilhelm-Pieck-Str.72, 15347 Müncheberg
- Scheffer, K. 21.6.1997: GH Kassel, FB Landwirtschaft, Nordbahnhofstr. 1a, 3540 Witzenhausen
- Schmidtke, K. 30.7.1997: Uni Göttingen, Institut für Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung, Von-Siebold-Str. 8, 37073 Göttingen, Tel.: 0551 / 39-4352
- Van den Weghe, I.-H. 25.7.1997: Forschungs- und Studienzentrum für Veredelungswirtschaft Weser-Ems, Driverstr. 22, 49377 Vechta, Tel.: 04441 / 15-215