

Biogasakzeptanz

Erstellung eines Bewertungstools für die regionale Akzeptanz
von Biogasanlagen mit Energiesystempflanzen sowie deren
Eignung und Verfügbarkeit

W. Ahrer, S. Trogisch, N. Weran, K. Reindl

Berichte aus Energie- und Umweltforschung

50/2007

Impressum:

Eigentümer, Herausgeber und Medieninhaber:
Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie
Radetzkystraße 2, 1030 Wien

Verantwortung und Koordination:
Abteilung für Energie- und Umwelttechnologien
Leiter: DI Michael Paula

Liste sowie Bestellmöglichkeit aller Berichte dieser Reihe unter <http://www.nachhaltigwirtschaften.at>

Biogasakzeptanz

Erstellung eines Bewertungstools für die regionale Akzeptanz
von Biogasanlagen mit Energiesystempflanzen sowie deren
Eignung und Verfügbarkeit

DI Dr. Werner Ahrer (Projektleitung)

DI (FH) Steven Trogisch

Mag. Nikolaus Weran

Mag. (FH) Konrad Reindl

Profactor Produktionsforschungs GmbH

Steyr, Februar 2006

Ein Projektbericht im Rahmen der Programmlinie



Impulsprogramm Nachhaltig Wirtschaften

Im Auftrag des Bundesministeriums für Verkehr, Innovation und Technologie

Projektleitung



DI Dr. Werner Ahrer / Profactor Produktionsforschungs GmbH

Projektmitarbeiter

DI (FH) Steven Trogisch / Profactor Produktionsforschungs GmbH

Mag. Nikolaus Weran / Profactor Produktionsforschungs GmbH

Mag. (FH) Konrad Reindl / Profactor Produktionsforschungs GmbH

Kooperationspartner



Institut für angewandte Mikrobiologie, BOKU Wien



Studia – Studienzentrum für Internationale Analysen, Schlierbach



Stadtgut Steyr GmbH, Steyr



HBLuFA Francisco Josephinum Wieselburg: BLT – Biomass, Logistics, Technology

Programmierung des Internet Tools: DataPro, Linz

Vorwort

Der vorliegende Bericht dokumentiert die Ergebnisse eines Projekts aus der Programmlinie ENERGIESYSTEME DER ZUKUNFT. Sie wurde 2003 vom Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie im Rahmen des Impulsprogramms Nachhaltig Wirtschaften als mehrjährige Forschungs- und Technologieinitiative gestartet. Mit der Programmlinie ENERGIESYSTEME DER ZUKUNFT soll durch Forschung und Technologieentwicklung die Gesamteffizienz von zukünftigen Energiesystemen deutlich verbessert und eine Basis zur verstärkten Nutzung erneuerbarer Energieträger geschaffen werden.

Dank des überdurchschnittlichen Engagements und der großen Kooperationsbereitschaft der beteiligten Forschungseinrichtungen und involvierten Betriebe konnten bereits richtungsweisende und auch international anerkannte Ergebnisse erzielt werden. Die Qualität der erarbeiteten Ergebnisse liegt über den hohen Erwartungen und ist eine gute Grundlage für erfolgreiche Umsetzungsstrategien. Mehrfache Anfragen bezüglich internationaler Kooperationen bestätigen die in ENERGIESYSTEME DER ZUKUNFT verfolgte Strategie.

Ein wichtiges Anliegen des Programms ist, die Projektergebnisse – sei es Grundlagenarbeiten, Konzepte oder Technologieentwicklungen – erfolgreich umzusetzen und zu verbreiten. Dies soll nach Möglichkeit durch konkrete Demonstrationsprojekte unterstützt werden. Deshalb ist es auch ein spezielles Anliegen die aktuellen Ergebnisse der interessierten Fachöffentlichkeit leicht zugänglich zu machen, was durch die Homepage www.ENERGIESYSTEMEderZukunft.at und die Schriftenreihe gewährleistet wird.

Dipl. Ing. Michael Paula

Leiter der Abt. Energie- und Umwelttechnologien

Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie

Inhaltsverzeichnis

Kurzfassung	7
Abstract	7
Zusammenfassung	9
Summary	14
1. Einleitung	18
1.1. Allgemeine Einführung in die Thematik	18
1.2. Vorarbeiten zum Thema	18
1.3. Einpassung in die Programmlinie „Energiesysteme der Zukunft“	19
1.4. Beitrag zum Gesamtziel der Programmlinie „Energiesysteme der Zukunft“ und den sieben Leitprinzipien nachhaltiger Technologieentwicklung	20
1.5. Zielgruppen und Umsetzungs- / Verbreitungspotenziale	21
1.6. Fokus und Schwerpunkte der Arbeit	21
1.7. Projektablauf	22
2. Ziele des Projekts „Biogasakzeptanz“	24
3. Inhalte und Ergebnisse des Projekts	26
3.1. Verwendete Methoden und Daten	26
3.2. Stand der Technik	27
3.3. Innovationsgehalt des Projektes „Biogasakzeptanz“	28
3.4. Darstellung der Projektergebnisse	29
4. Verfügbarkeit von Energiepflanzen	30
4.1. Auswahl der Kulturen und Parameter	30
4.2. Datengrundlage	31
4.2.1. Berechnungs- und Darstellungsmethode der Daten	31
4.3. Auswertungsebene der Daten	32
4.3.1. Kleinproduktionsgebiete (KPG)	32
4.3.2. RegioGraph	34
4.4. Potenzial	35
4.4.1. Verbleibende Ackerfläche abzüglich der Sonderkulturen und der Tierhaltung	35
4.4.2. Wirtschaftsdüngeranfall	36
4.4.3. Grünlandpotenzial	39
4.4.4. Ertragspotenzial für verschiedene Flächenszenarien	39
4.4.5. Spezifische Potenziale für die einzelnen Kleinproduktionsgebiete	41
4.5. Ergebnisse der Potenzialberechnungen	41
4.5.1. Verbleibende Ackerfläche nach Abzug der Sonderkulturen und der Tierhaltung	41
4.5.2. Wirtschaftsdüngeranfall	44
4.5.3. Grünlandpotenzial	47
4.5.4. Energiepflanzen-Ertragspotenzial aus 5 verschiedenen Szenarien	49
4.5.5. Spezifisches Potenzial in den verschiedenen Kleinproduktionsgebieten	51
4.6. Schlussfolgerungen	57
4.7. Zusammenfassung	58
5. Eignung von Energiepflanzen für die Vergärung	60

5.1. Grundlagen	60
5.2. Substratquellen	61
5.3. Allgemeiner Verfahrensablauf der Biogaserzeugung	62
5.3.1. Bereitstellung und Lagerung	62
5.3.2. Methangärung	63
5.3.3. Gasnutzung	65
5.3.4. Landwirtschaftliche Nutzung des Gärrestes.....	66
5.4. Auswahl der zu bearbeitenden Pflanzen und Erntestadien	67
5.5. Charakterisierung der Prozessschritte zur Biogasproduktion und Auswahl der Kenngrößen für die Bewertung	68
5.6. Modellerstellung zur Bewertung der Biogasproduktion aus Energiepflanzen	69
5.7. Bewertungskonzept	69
5.7.1. Mehrzielplanung	69
5.7.2. Composite Programming.....	71
5.8. Diskussion der Ergebnisse	74
5.8.1. Bereitstellung und Lagerung	74
5.8.2. Eignung für die Methangärung	85
5.8.3. Düngewirkung.....	98
5.8.4. Sensitivitätsanalysen	100
5.8.5. Gesamtbewertung Eignung	100
5.9. Zusammenfassende Diskussion	104
6. Akzeptanz von Energiepflanzen und Biogasanlagen	105
6.1. Ökologische Bewertung	105
6.1.1. Allgemeines zu Ökobilanzen	105
6.1.2. Zieldefinition	107
6.1.3. Abgrenzung des Untersuchungsrahmens	108
6.1.4. Funktionelle Einheit	110
6.1.5. Beschreibung und Auswahl der Wirkungskategorien.....	110
6.1.6. Sachbilanz	117
6.1.7. Wirkungsabschätzung	124
6.1.8. Auswertung.....	127
6.1.9. Interpretation	130
6.2. Ökonomische Bewertung	132
6.2.1. Bedeutung	132
6.2.2. Grundlagen.....	132
6.2.3. Datenaufstellung.....	132
6.2.4. Auswertung.....	138
6.2.5. Interpretation	142
6.3. Gegenüberstellung der ökologischen und ökonomischen Bewertungen	143
6.4. Zusammenfassung	145
6.4.1. Konkrete Empfehlungen.....	145
6.5. Akzeptanz in der sozio-ökonomischen Dimension	147
6.5.1. Ein Frage-Instrument zur Erfassung von Akzeptanz.....	147
7. Erstellung des Tools	150
7.1. Die Energiepflanzenbewertung im Internet-Tool	150

7.2. Die Biogas-Akzeptanz-Erhebung im Internet-Tool	156
7.2.1. Die Master-Auswertung für eine österreichische Energiepflanzen-Akzeptanz im Internet-Tool	157
7.3. Vorstellung und Funktionen der Homepage www.biogasakzeptanz.at:	158
7.3.1. Öffentlicher Bereich	158
7.3.2. Login-Bereich	162
8. Pilotanwendung des Tools	175
8.1. Verfügbarkeit von Energiepflanzen im betreffenden Kleinproduktionsgebiet	175
8.2. Akzeptanz	181
8.2.1. Die Akzeptanz in Gemeinde des Modellprojektes S (Abbildung 49).....	182
8.2.2. Aufmerksamkeit wecken (Abbildung 50).....	182
8.2.3. Akzeptanz aktivieren (Abbildung 51).....	183
8.2.4. Wärmenetz und Energie aus Pflanzen sind in der Gemeinde des Modellprojektes S akzeptiert.....	184
8.2.5. Den Frauen im Netzwerk eine Rolle geben (Abbildung 52).....	184
8.2.6. Energiepflanzen helfen Kosten sparen (Abbildung 53 und Abbildung 54)	185
8.2.7. Die Gemeinde soll unterstützen (Abbildung 55).....	186
8.3. Zusammenfassung	187
8.3.1. Verfügbarkeit	187
8.3.2. Akzeptanz.....	188
9. Verwertung der Ergebnisse	189
9.1. Bisherige Verwertung	189
9.2. Künftige Verwendung und Verwertung	189
10. Schlussfolgerungen	191
10.1. Was sind die in dem Projekt gewonnenen Erkenntnisse? (Fachliche Einschätzung)	191
10.2. Wie arbeitet das Projektteam mit den gewonnenen Ergebnissen weiter?	191
10.3. Für welche Zielgruppen sind die Projektergebnisse relevant und interessant? ...	192
11. Ausblick / Empfehlungen	193
11.1. Chancen / Schwierigkeiten / Risiken bei der Umsetzung Richtung Demonstrationsprojekt	193
11.2. Empfehlungen für den weiterführenden Forschungsbedarf	193
11.2.1. Neuzüchtung von Energiepflanzen	193
11.2.2. Weiterentwicklung des Akzeptanz-Tools	195
12. Literaturverzeichnis	197
13. Abbildungsverzeichnis	208
14. Tabellenverzeichnis	210
15. Anhänge	212

Kurzfassung

Im Projekt Biogasakzeptanz wurde ein Tool entwickelt, das der Planung und Umsetzung von mit Energiepflanzen betriebenen Biogasanlagen dient. Mit dem Tool werden die Verfügbarkeit, die Eignung und die Akzeptanz von Energiepflanzen und die Akzeptanz von Biogasanlagen als solche in der Nachbarschaft ermittelt.

Im Rahmen der Aufgabenstellung „**Verfügbarkeit von Energiepflanzen zur Biogasproduktion**“ wurde ein Überblick über die Nutzung der landwirtschaftlichen Nutzfläche in Österreich gegeben und das Flächenpotenzial für einen möglichen Anbau von Energiepflanzen für die 87 österreichischen Kleinproduktionsgebiete erhoben und grafisch dargestellt. Die Berechnung erfolgte auf Basis der österreichischen Ackerflächen, von der jene Flächen, die für die Tierhaltung benötigt werden, abgezogen wurden. Der Wirtschaftsdüngeranfall sowie das Biomasseaufkommen aus dem Grünland wurde ebenfalls erhoben und in die Potenzialabschätzung einbezogen.

Die mit der „**Eignung von Energiepflanzen zur Vergärung**“ in Zusammenhang stehenden Einflussfaktoren wurden mit vorliegender Arbeit zu einer sinnvollen Bewertung aggregiert. Dazu wurden zunächst wichtige Einflussgrößen auf die verschiedenen Prozesse der Biogaserzeugung erhoben und anschließend gruppiert, um eine Gesamtbeurteilung der Eignung zu ermöglichen. Die ausgewählten Energiepflanzen wurden anschließend in Bezug auf ihre Eignung für den Biogasprozess mit der Rechenvorschrift des Fuzzy Composite Programming verglichen und bewertet. Mit der vorliegenden Studie wurde erstmals eine klare Bewertungsvorschrift zur Diskussion gestellt, die eine Reihung von Energiepflanzen nicht nur über den Methanertrag zulässt.

Die „**Akzeptanz von Energiepflanzen und Biogasanlagen als solche**“ wurde anhand ökologischer, ökonomischer und sozio-ökonomischer Faktoren erarbeitet. Die Bewertung von Energiepflanzen, die zur Erzeugung von Biogas eingesetzt werden, hängt von regionalen, pflanzenbaulichen, technischen und auch persönlichen Aspekten ab. An erster Stelle stehen die pflanzenspezifischen Standortansprüche, die Aussage darüber geben, welche Pflanzenkultur an einem bestimmten Standort angebaut werden kann.

Für den wirtschaftlichen Vergleich wurde eine Methode für eine übersichtliche Einstufung der einzelnen Varianten entwickelt, mit der Landwirte, Anlagenbetreiber oder sonstige Interessensgruppen über die anzubauende Pflanzenart entscheiden können.

Für die Erhebungen der sozio-ökonomischen Fragestellungen wurde ein Fragebogen-Instrument erarbeitet, das gemeinsam mit einem Arbeitshandbuch inklusive Interpretationshilfen für Interessenten als Download auf der Internetseite www.biogasakzeptanz.at zur Verfügung gestellt wird. Dort finden sich auch alle anderen Projektergebnisse als Informations-Datenbank oder als interaktive Berechnungs-Tools.

Das erarbeitete **Tool** wurde schließlich konkret an einer in Bau befindlichen mit Energiepflanzen betriebenen Biogasanlage **in Oberösterreich getestet** und die Ergebnisse in einer gut besuchten Präsentation in der Gemeinde des Modellprojekts vorgestellt.

Abstract

In the project Biogas Acceptance a tool was developed for the planning and the realization of optimized biogas plants, especially for the digestion of energy plants. The tool offers answers to the questions of the suitability and the acceptance of energy plants and the acceptance of biogas plants in the neighborhood.

In the task “**Availability of Energy Plants for the Biogas Production**” an overview on the usage of the farmland in Austria and the potential for the optional usage for the cultivation of energy plants for the biogas production in the 87 production areas in Austria was given. The calculation was based on the Austrian area used for farming, from which those areas have been subtracted which are used for growing animal feedstock. Manure and grassland have also been calculated as additionally available substrate for biogas production.

In the task “**Suitability of Energy Plants for Anaerobic Digestion**” the factors influencing the degradability of energy plants were aggregated to a useful evaluation in this work. For this purpose the most important variables influencing the different process steps of the biogas production were listed and grouped in order to obtain a comprehensive system of evaluation. The selected energy plants were compared with the calculation procedure of the fuzzy composite programming and evaluated. The existing study represents a clear evaluation rule for energy plants which does not only consider the methane output alone.

The “**Acceptance of Energy Plants and Biogas Plants as Such**” was investigated in terms of ecological, economic and socio-economic aspects. The assessment of the energy plants which are used for the production of biogas depends on regional, horticultural, technical and even personal aspects. Most important are the plant specific demands on the location, which gives information about which plant could be cultivated in which location. Further it is important to know if the digestion of the material makes sense.

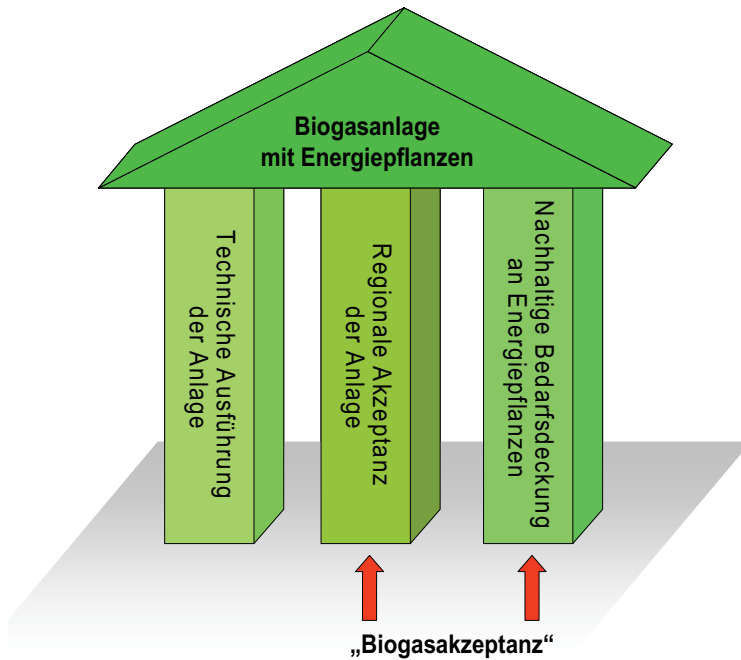
For the economic comparison a method for an over-viewing categorization of the single variations was developed to help the farmers, the owner of the biogas plant or other groups of interest in their decision which energy plants are the best.

For the socio-economic questions a questionnaire was established which is available as download together with the handbook and a help for interpretation for interested people on the internet page www.biogasakzeptanz.at. There you can find all the other results of the project as an information database or as interactive calculation tool.

The established **tool was tested in Upper Austria** on a biogas plant for the digestion of energy plants being currently under construction. The results have been shown within a well attended presentation in the municipality of the model project.

Zusammenfassung

Im Projekt Biogasakzeptanz wurde ein Tool entwickelt, das der Planung und Umsetzung optimierter Biogasanlagen dient, die vornehmlich mit Energiepflanzen betrieben werden. Das Tool gibt Antworten auf Fragen der Verfügbarkeit, der Eignung und der Akzeptanz von Energiepflanzen und der Akzeptanz von Biogasanlagen als solche in der Nachbarschaft. Besonderer Schwerpunkt wurde auf die Einbindung von Biogasanlagen in die betreffende Region gelegt, das heißt, dass vor allem die Substratverfügbarkeit in erster Linie im Umkreis der Anlage betrachtet wird.



Die Themen Verfügbarkeit und Eignung sind wesentliche Faktoren für die nachhaltige Bedarfsdeckung einer Anlage mit Substrat für die Vergärung. Die Regionale Akzeptanz ist das zweite Standbein einer Biogasanlage und Voraussetzung für den funktionierenden Betrieb (zum Beispiel durch Abnahme der Abwärme durch Nachbarn). Technische Aspekte für den Betrieb der Anlage als drittes Standbein von Biogasanlagen werden in diesem Projekt bewusst nicht tangiert (siehe Grafik).

Das Projekt wurde unter der Projektleitung von Profactor in einem interdisziplinären Konsortium abgewickelt. Die HBLuFA Francisco Josephinum Wieselburg: BLT – Biomass, Logistics,

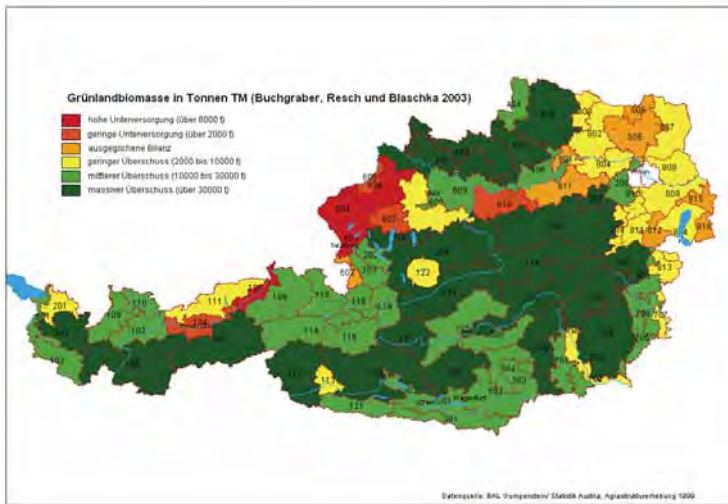
Technology hat schwerpunktmäßig den Teil „Verfügbarkeit“ bearbeitet, das Institut für angewandte Mikrobiologie der Universität für Bodenkultur Wien hat sich vor allem mit dem Thema der Eignung befasst, Studia – Studienzentrum für Internationale Analysen hat das Thema sozio-ökonomische Akzeptanz und Profactor schließlich den Bereich Akzeptanz in der Dimension „Ökologie“ und „Wirtschaftlichkeit“ näher betrachtet. Die Zusammenführung aller Arbeiten zu einem Gesamt-Tool und der Test des Tools an einem Modellprojekt wurde durch alle Partner eingebracht. Die Stadtgut GmbH als Projekt- und gleichzeitig Finanzierungspartner leistete Beiträge zur Diskussion der Gesamtkonzeption des Tools.

„Biogasakzeptanz“ verfolgte die konkreten Projektziele:

- Entwicklung eines Werkzeugs zur Bewertung der regionalen Akzeptanz von Biogasanlagen sowie der Akzeptanz von Energiepflanzen in der regionalen Landwirtschaft.
- Erhebung der Eignung von Energiepflanzen aufgrund deren Zusammensetzung.
- Erhebung der Verfügbarkeit von Energiepflanzen aufgrund deren Anforderungen an den Boden und die klimatischen Verhältnisse.
- Handbuch zur ausführlichen Beschreibung des Werkzeugs und Anleitung zur Handhabung des Fragebogeninstruments.
- Erstellung der Ökobilanz von Energiepflanzen sowie wirtschaftlich relevanter Kennzahlen.
- Test des Werkzeugs anhand einer konkreten Anwendung und Präsentation der Ergebnisse.

- Einrichtung einer Homepage, auf der das erarbeitete Tool sowie die notwendigen Hintergrund-Daten verfügbar gemacht werden.

Im Rahmen der Aufgabenstellung „**Verfügbarkeit von Energiepflanzen zur Biogasproduktion**“ wurde zum einen ein Überblick über die Nutzung der landwirtschaftlichen Nutzfläche in Österreich gegeben und zum anderen das Flächenpotenzial für einen möglichen Anbau von Energiepflanzen für



die 87 österreichischen Kleinproduktionsgebiete erhoben und grafisch dargestellt (vgl. Abbildung).

Die Berechnung eines Flächenpotenzials, das für einen Energiepflanzenanbau zur Biogasproduktion genutzt werden könnte, erfolgte über verschiedene Ansätze.

Ein erster Ansatz war die Berechnung der Ackerfläche, welche übrig bleibt, nachdem die für die Tierhaltung benötigten Ackerflächen von der Gesamtackerfläche

eines Gebietes abgezogen wurde. Die für die Tierhaltung nötige Fläche wurde durch Unterstellung von Standardrationen und Durchschnittserträgen der in den Rationen enthaltenen Komponenten berechnet.

Mit einer alternativen Berechnungsmethode wurde in einem zweiten Ansatz der Wirtschaftsdüngeranfall aus der Tierhaltung in den einzelnen Kleinproduktionsgebieten berechnet. Dieser könnte ebenso verstärkt als Substrat für den Biogasprozess verwendet werden.

In einem dritten Ansatz wurde das Biomasseaufkommen aus dem Grünland berücksichtigt. Laut Expertenprognosen werden in den nächsten Jahren in den benachteiligten Gebieten Österreichs, in denen ohnehin keine Ackerflächen mehr als Potenzial zur Verfügung stehen, durch die Abnahme des Tierbestandes und den verstärkten Kraffuttereinsatz erhebliche Mengen (bis zu 1 Million t Trockensubstanz pro Jahr) an Grünlandbiomasse frei.

Als letzter Ansatz zur Potenzialberechnung wurde mit zwei definierten Fruchtfolgen für fünf verschiedene Flächenszenarien das Ertragspotenzial einiger weniger, aufgrund ihrer Eignung ausgewählter Energiepflanzen für die einzelnen Kleinproduktionsgebiete berechnet.

Das entwickelte Bewertungstool für die Biogasakzeptanz und Verfügbarkeit von Energiepflanzen bietet eine Hilfestellung, indem es einen Überblick über die landwirtschaftliche Situation in einem Kleinproduktionsgebiet verschafft. Wenn eine Biogasanlage in einem bestimmten Gebiet geplant werden soll, ist eine Auseinandersetzung mit der Situation vor Ort unumgänglich.

Im Zusammenhang mit der „**Eignung von Energiepflanzen zur Vergärung**“ wird eine Vielzahl von möglichen Einflussfaktoren genannt. Mit vorliegender Arbeit wurde versucht, wichtige Größen zu einer sinnvollen Bewertung zu aggregieren.

Dazu wurden zunächst wichtige Einflussgrößen auf die verschiedenen Prozesse der Biogasproduktion erhoben und anschließend gruppiert, um eine Gesamtbeurteilung der Eignung zu ermöglichen. Die

ausgewählten Energiepflanzen wurden anschließend in Bezug auf ihre Eignung für den Biogasprozess mit der Rechenvorschrift des Fuzzy Composite Programming verglichen und bewertet.

Die Bewertung der Eignung nach den gewählten Kriterien ergab nur geringe Unterschiede zwischen den einzelnen Pflanzen. Dies liegt einerseits an der Kompensationswirkung und der Tendenz zum Ausgleich, die composite programming bewirkt, wenn gegensätzliche oder unvereinbare Ziele formuliert werden. Andererseits tragen auch die erhobenen Charakteristika der Pflanzenarten selbst zu den geringen Unterschieden im Ergebnis bei: bezogen auf die Trockensubstanz unterscheidet sich pflanzliche Biomasse bis auf die generativen Speicherorgane in der Zusammensetzung nicht grundlegend. Dies trifft vor allem zu, wenn die Variabilität der Kenngrößen mitberücksichtigt wird, die Betrachtung auf der Ebene von Stoffgruppen erfolgt und die Einflüsse einzelner chemischer Substanzen außer Acht gelassen werden. Oft ist die Übereinstimmung innerhalb derselben Reifestadien unterschiedlicher Arten größer als innerhalb der Art zwischen den verschiedenen Reifestadien. Auch durch die Sortenwahl können sich teils größere Unterschiede bemerkbar machen als zwischen den Arten.

Dies deutet bereits daraufhin, dass nicht die Zusammensetzung das Hauptkriterium für die Auswahl einer Pflanze darstellen wird, sondern eine Kombination aus Methan- und Hektarertrag sowie niedrigen Erzeugungskosten. Für die Praxis bedeutet dies aber, dass die Auswahl von Energiepflanzen eher über das Ertragspotenzial am Standort getroffen werden wird, oder auch getroffen werden sollte, da die Unterschiede in der Eignung nicht so groß sind, dass sie eine gezielte Empfehlung erlauben.

Composite Programming als Methode scheint prinzipiell gut geeignet, ein komplexes Problem in überschaubare Untereinheiten zu gliedern und einer Evaluierung zugänglich zu machen. Selbst ein durch sehr unterschiedliche Prozesse gekennzeichneten Ablauf wie die Biogasproduktion aus Energiepflanzen lässt sich so strukturieren. Schwierigkeiten ergeben sich vor allem bei der Methangärung an sich, da hier ein dynamischer Prozess, in dem viele Schritte aneinander gekoppelt ablaufen, durch statische Größen bewertet werden soll, die zusätzlich datenmäßig nur unzureichend erfasst sind.

Mit der vorliegenden Studie wurde erstmals eine klare Bewertungsvorschrift zur Diskussion gestellt, die eine Reihung von Energiepflanzen nicht nur über den Methanertrag zulässt. Da sowohl Gewichtung als auch Rechenvorgang transparent und nachvollziehbar gehalten wurden, ist eine Erweiterung auf zusätzliche Substrate problemlos möglich. Auch neue Kenngrößen können ohne Weiteres implementiert werden, was besonders im Hinblick auf die Weiterentwicklung der dynamischen Modellierung des anaeroben Abbauprozesses interessant erscheint.

Die „**Akzeptanz von Energiepflanzen**“ wurde anhand ökologischer, ökonomischer und sozio-ökonomischer Faktoren erarbeitet. Die ökologische und ökonomische Bewertung von Energiepflanzen, die zur Erzeugung von Biogas im jeweiligen Fall eingesetzt werden, hängt von vielen regionalen, pflanzenbaulichen, technischen und auch persönlichen Aspekten ab. An erster Stelle stehen mit Sicherheit die pflanzenspezifischen Standortansprüche, die Aussage darüber geben, welche Pflanzenkultur an einem bestimmten Standort angebaut werden kann. Weiters ist wichtig, ob aufgrund innerer Faktoren die Vergärung des Materials Sinn macht.

Einer der im Allgemeinen wichtigsten Punkte, der wirtschaftliche Vergleich, wurde in dieser Arbeit näher untersucht. Mit der hier angewandten Methode ist eine übersichtliche Einstufung der einzelnen Varianten geschaffen worden, mit der Landwirte, Anlagenbetreiber oder sonstige Interessensgruppen über die anzubauende Pflanzenart entscheiden können.

Der ökologischen Bewertung wurde bisher kaum Beachtung geschenkt. Durch immer strengere Auflagen, vor allem bei Großanlagen, kann sich dies jedoch in naher Zukunft ändern. Die ökologische Bewertung stellte daher in diesem Projekt einen wesentlichen Inhalt dar.

Die in beiden Fällen angewandte Methodik geht von österreichischen Durchschnittswerten aus. Dadurch kann es in der Praxis zu nicht unwesentlichen Abweichungen kommen. Die Rangfolge der Anbauwürdigkeit wird jedoch nur geringfügig beeinflusst, da in Gunstlagen bei jeder der Kulturen höhere Erträge erzielt werden.

Für die Erhebungen der sozio-ökonomischen Fragestellungen wurde ein Fragebogen-Instrument erarbeitet, das gemeinsam mit einem Arbeitshandbuch inklusive Interpretationshilfen für Interessenten als Download auf der Internetseite www.biogasakzeptanz.at zur Verfügung gestellt wird. Dort finden sich auch alle anderen Projektergebnisse als Informations-Datenbank oder als interaktive Berechnungs-Tools.

Das Design einer Akzeptanz-Untersuchung variiert stark, abhängig ist es von den Zielen und Zielgruppen sowie den Möglichkeiten, sie anzusprechen. Die Betroffenen nehmen manche Faktoren möglicherweise nicht wahr oder sprechen sie nicht an; solche Faktoren können dennoch die Akzeptanz maßgeblich beeinflussen. Umfeld und Situation müssen bedacht werden, Probleme und Nutzen erfasst und in jedem Segment strukturiert werden. Die Besuche an Umsetzungsorten und die Gespräche mit Praktikern ergaben eine umfassende qualitative Information, ergänzt wurde sie durch Literatur-Recherchen und die Erfahrungen des multidisziplinären Projektteams.

Aus Sicht der Betroffenen, der Akteure und Verantwortlichen ergeben sich verschiedene Fragestellungen, wenn Akzeptanz beurteilt werden soll: Welche Nutzenkalküle dieser Technologie werden spontan wahrgenommen? Was kann man insgesamt mit dieser Technologie bewirken, was sind ihre tatsächlichen Funktionen? Was spricht gegen diese Technologie, reale negative Auswirkungen und mit ihnen verbundene Besorgnisse, oder mögliche pauschale Befürchtungen?

Für diese Fragestellungen wurde die Akzeptanzanalyse in 9 übergeordneten Dimensionen und in 23 Sub-Dimensionen dargestellt:

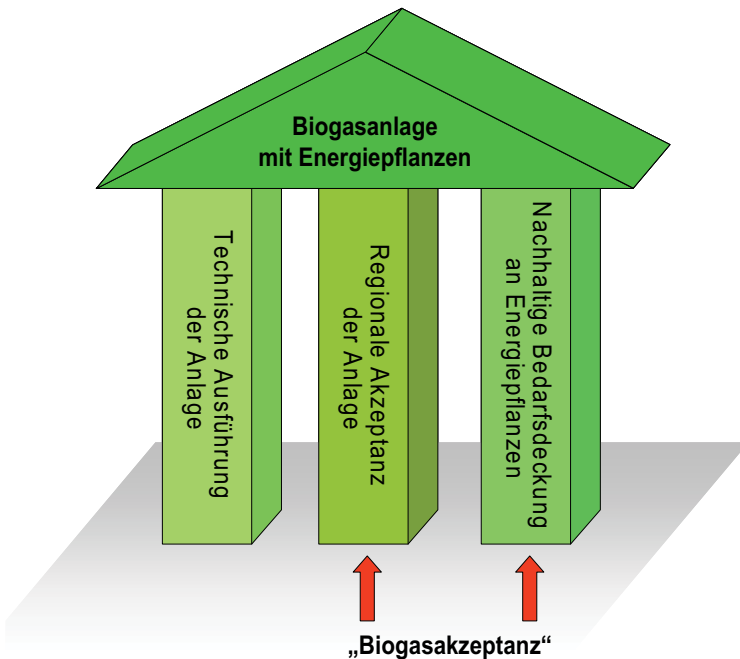
	<i>9 Dimensionen der Akzeptanz</i>	<i>23 Sub-Dimensionen</i>
1	Aktivierte Akzeptanz	Akzeptanz Energie aus Pflanzen Akzeptanz einzelner Energiepflanzen Akzeptanz Wärmenetz Akzeptanz persönlicher Beitrag
2	Aufmerksamkeit	Aufmerksamkeit
3	Bedingungs-Setzung	Bedingungs-Setzung
4	Ethik	PRO RE Einsatz Verantwortung und Offenheit Zahlungsbereitschaft
5	Nutzen	Nutzen persönlich Nutzen für die Region Nutzen am Ort – Primärbedarf
6	(kein) Risiko	(kein) Risiko der Energiepflanzen (kein) Risiko der Nahwärme (keine) Risiken am Ort (kein) Risiken im Betrieb
7	Sozial-Optimismus	Kommunales Klima Vertrauen in AkteurInnen

8	Technologie-Optimismus	Optimismus Energie-Technologie Vertrauen in Technologie
9	Wissen	Wissen Ökothemen Wissen Energiepflanzen und Biogas Medienzugriff

Das erarbeitete **Tool** wurde schließlich konkret an einer in Bau befindlichen mit Energiepflanzen betriebenen Biogasanlage **in Oberösterreich getestet**. Die Anwendung erfolgte aus Sicht der Verfügbarkeit von Energiepflanzen im betreffenden Kleinproduktionsgebiet. Weiters wurde die Erhebung der Akzeptanz anhand des entwickelten Frage-Instruments durchgeführt und einer Auswertung unterzogen. Von den ausgegebenen 60 Fragebögen wurden 41 retourniert, was einer ungefähren Rücklaufquote von knapp 70 % entspricht. Alle Ergebnisse wurden in Form einer gut besuchten abendlichen Präsentation im Gemeindeamt vorgestellt.

Summary

In the project Biogas Acceptance a tool was developed for the planning and the realization of optimized biogas plants, especially for the digestion of energy plants. The tool offers answers to the questions of the suitability and the acceptance of energy plants and the acceptance of biogas plants in the neighborhood. The main focus was set on the integration of the biogas plant in the respective region. Especially the availability of the substrates nearby the biogas plant was analyzed.



The topics “availability” and “suitability” of energy plants for digestion are main tasks for the sustainable supply of substrates for anaerobic digestion in a biogas plant. The acceptance of the region is the second basic requirement for a biogas plant and the precondition for a stable operation (for example the consumption of the exhaust heat by the neighbors). Technical aspects of a biogas plant are another important factor but were not discussed in this project (see scheme).

The project was conducted by an interdisciplinary consortium under the leadership of Profactor. The HBLuFA Francisco Josephinum Wieselburg:

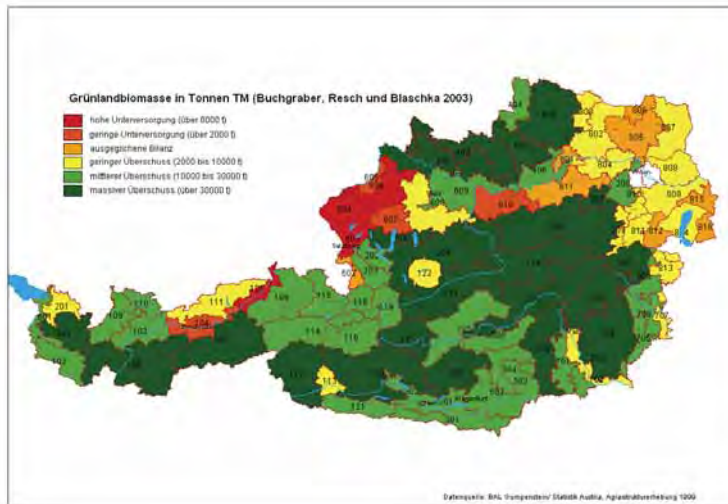
BLT – Biomass, Logistics, Technology mainly worked on the part “availability”, the Institute for Applied Microbiology of the University of Agriculture in Vienna worked on the part “suitability” and Studia – center for studies and international analysis had a look on the topic socio-economic acceptance. Finally, Profactor contributed to the “acceptance” in the dimension “Ecology” and “Economy”.

The combination of the work packages to a whole tool and the testing on a model project was realized by all the partners. The “Stadtgut GmbH” as a project and a financing partner made a contribution in the discussion of the whole concept of the tool.

The concrete aims of the project “Biogas acceptance” are:

- Development of a tool for the evaluation of the regional acceptance of biogas plants and the acceptance of energy plants in the region.
- Evaluation of the suitability of energy plants in terms of their composition.
- Evaluation of the availability of energy plants due to their demand in terms of soil and the climate.
- Compendium for a detailed description of the tool and a guideline for the questionnaire tool.
- Development of the life cycle assessment of energy plants and economically important indices.
- Testing of the tool in a concrete model project and a presentation of the results.
- Establishing of a website to make the tool and the necessary data available to the public.

In the task **“Availability of Energy Plants for the Biogas Production”** an overview on the usage of the farmland in Austria was given. The potential amount of farmland for a possible cultivation of energy plants for the 87 Austrian production areas was evaluated and presented graphically (see figure).



The calculation of the potential farmland that could be used for the cultivation of energy plants followed different approaches.

The first approach was the calculation of the farmland which remains after subtracting the farmland that is used for livestock husbandry of the farmland of an area. The used farmland for husbandry livestock was calculated by standard feed rates and the average yield.

In a second attempt, using an alternative calculation model the

amount of dung in the production areas was calculated which can also be used as substrate for biogas plants.

In a third attempt the amount of biomass of the grassland was calculated. According to the prognoses of experts in the unprivileged areas of Austria which do not have any farmland left there will be much more potential of grassland due the reducing of the animal live stock and the use of mash in the next years (until 1 million tons of dry substance per year).

In the last attempt for the calculation of the potential yield two defined crop rotations for five different scenarios were selected according to their suitability and calculated for the various production areas.

The established benchmark tool for the acceptance of biogas and the availability of energy plants offers good help by giving an overview of the agricultural situation in the production areas. If a biogas plant is planned in a certain area it is additionally necessary to deal with the local situation.

In the part **“Suitability of Energy Plants for Anaerobic Digestion”** numerous influencing factors have to be considered. In this work it was tried to combine the most important facts to one significant benchmark.

So the most important influences on the different processes of the production of biogas were evaluated and grouped to find a complete assessment of the suitability. The selected energy plants were compared with the calculation procedure of the fuzzy composite programming and evaluated.

The evaluation of the suitability following the chosen criteria showed only few differences between the single plants. On the one hand this can be explained by the compensation of the composite programming when contrary or incompatible aims are formed. On the other hand the evaluated characteristics of the plants themselves lead to a very small difference: concerning the dry substance the herbal biomass does not vary except the generative storage organ in its composition. This especially applies if the variability of the parameters is considered, the substance class is analyzed and the influence of the single chemical substances is not considered. It happened very often that the correlation in the same stage of maturity of different kinds of plants was better than in the same kind of plant with

different stages of maturity. Even by the choice of the species bigger differences can be shown than between the species. This shows that the composition is not the main criteria for the choice of a plant but a combination of the output of methane, the harvest per hectare and lower cost of production. This means in practice that the choice of the energy plant should be mentioned by the harvest potential for each region because the differences concerning the suitability are not so big that a selective recommendation is possible.

Composite programming as a method seems to be the right choice to arrange a complex problem in manageable subunits and to evaluate them. Even such a complex process as the production of biogas which is characterized by different processes can be structured. There are problems related to anaerobic digestion in general because a dynamic process takes place in different small interlinked steps and it is not easy to evaluate them by statistical values especially when only insufficient data are available.

The existing study represents a clear evaluation rule for energy plants which does not only consider the methane output alone. Because the weighting factors and the calculation procedure are transparent an extension of the method to other substrates is possible without problems. Even new criteria can be implemented easily which seems to be interesting concerning the further development of a dynamic modeling of the anaerobic digestion.

The “**Acceptance of Energy Plants**” was investigated in terms of ecological, economic and socio-economic aspects. The ecological and economic evaluation of energy plants which are used by the production of biogas in any case depend on many regional horticultural, technical and even personal aspects. Most important are the plant specific demands on the location, which gives information about which plant could be cultivated in which location. Further it is important to know if the digestion of the material makes sense.

The normally most important factor, the economic comparison, is analyzed in this work. The used method offers an overviewing categorization of the single variations to help the farmers, the owner of the biogas plant or other groups of interest in their decision which energy plants are the best.

The ecological aspect has hardly been investigated so far and therefore plays an important role in this project. Due to additional requirements, mainly for large biogas plants, this aspect could change in the future.

The described method uses the average values for Austria. So it could be that the real values vary in practice. Nevertheless, the ranking of the cultivation is hardly affected because there is a higher yield for all energy plants in better production areas.

For the socio-economic questions a questionnaire was established which is available as download together with the handbook and a help for interpretation for interested people on the internet page www.biogasakzeptanz.at. There you can find all the other results of the project as an information database or as interactive calculation tool.

The design of an evaluation of acceptance varies depending on the aims, the target group and the possibility to communicate with it. The relevant people see things from a different point of view or do not mention them. But those aspects can strongly affect an acceptance analysis. The surroundings and the situation have to be seen. Visits at the locations and talking to experts gave a comprehensive information which was completed by literature research and by the experience of the multidisciplinary project team.

From the point of view of the relevant people, the actors and the persons in charge, there are different questions to be evaluated for the acceptance. Which benefit of the technology can spontaneously be seen? What could be done with this technology, what is the function? What are facts against the technology? Are there real negative effects and related concerns or general fears?

For these questions the analysis of acceptance is shown in 9 dimensions and 23 sub-dimensions:

	<i>9 dimensions of acceptance</i>	<i>23 sub-dimensions</i>
1	activated acceptance	acceptance energy of plants acceptance of single energy plants acceptance warmth grid acceptance personal effort
2	attention	attention
3	setting of conditions	setting of conditions
4	ethics	PRO RE effort responsibility and openness willingness to pay
5	benefit	personal benefit benefit for the region benefit for the location – primary demand
6	(no) risk	(no) risk of energy plants (no) risk of district heating (no) risk for the location (no) risk of operation
7	social optimism	communal climate trust in the actors
8	technical optimism	optimism energy-technology Trust in technology
9	knowledge	knowledge ecological themes knowledge energy plants and biogas access to media

The established **tool was tested in Upper Austria** on a biogas plant for the digestion of energy plants being currently under construction. The test was mainly concerning the availability of the energy plants in the respective production area. Further, the analysis of the acceptance was done with the established questionnaire instrument and analyzed. 41 out of the 60 distributed questionnaires were returned which means a rate of return of almost 70%. The results were presented in a well attended event in the municipal office.

1. Einleitung

1.1. Allgemeine Einführung in die Thematik

Biogasanlagen mit Energiepflanzen als Gärsubstrat werden immer häufiger zur Erzeugung erneuerbarer Energie herangezogen. Wie groß die Akzeptanz der Biogasanlage an einem bestimmten Standort ist, welche Pflanzen sich in einer konkreten Region eignen, welche zur Verfügung gestellt werden können und wie hoch die Akzeptanz von Energiepflanzen in der landwirtschaftlichen Wertschöpfungskette ist, kann jedoch vielfach bei der Planung von Biogasanlagen nicht beurteilt werden. Für einen zukünftigen Biogasanlagenbetreiber, für Regionalentwickler und Interessentenvertreter von Bund und Land entsteht daraus ein Unsicherheitsfaktor, was die nachhaltige Versorgung der geplanten Anlage mit geeignetem Gärsubstrat bzw. den Betrieb der Anlage betrifft. Um diese Situation auf der Versorgungsseite zu verbessern, werden in diesem Projekt Werkzeuge entwickelt, die ein rasches und effizientes Erfassen der relevanten Parameter ermöglichen. Auf der Seite der Anlagenakzeptanz werden die relevanten Gruppen identifiziert, die in den Entscheidungsprozess eingebunden werden sollen (Anrainer, Interessensvertretungen, Industriepartner, usw.), um einen möglichst reibungslosen späteren Betrieb zu gewährleisten und den Nutzen für die beteiligten Gruppen klarzulegen. Biogasanlagen werden damit zu einem gesellschaftlichen Faktor, was bisher in der Diskussion rund um derartige Anlagen vernachlässigt worden ist.

Im Bereich nachhaltige Sicherstellung der Bedarfsdeckung mit Energiepflanzen sind folgende Faktoren zu berücksichtigen:

- (a) die Verfügbarkeit (geografisch-regionaler Faktor),
- (b) die Eignung (ein statischer physiologischer Faktor der Pflanze an sich bzw. ihrer Verwertbarkeit) und
- (c) die Akzeptanz von Energiepflanzen in der Landwirtschaft (sie ist dynamisch und regional abhängig).

Entscheidungsträger, die eine Anlagenerrichtung planen bzw. die regionale Energieversorgung auf Alternativen umstellen wollen, müssen diese Faktoren wissen und quantitativ erfassen können, um ihre Planung nachhaltig ausrichten zu können.

1.2. Vorarbeiten zum Thema

In der Region Steyr wurde im Zeitraum von Juli 2002 bis Juli 2003 eine Machbarkeitsstudie zur Errichtung einer Biogasanlage durchgeführt. In diesem Projekt wurden die relevanten Personenkreise, Interessensvertretungen und Industriepartner identifiziert und während der gesamten Projektdauer eingebunden. Auf die Verbindung von städtischen Gebieten mit dem ländlichen Umfeld wurde großer Wert gelegt und die Einbindung der Landwirtschaft als wesentlicher Faktor erkannt.

Die zentrale Aussage aus dem Projekt war, dass sowohl für die Akzeptanz von Biogasanlagen in der Bevölkerung als auch für die Sicherstellung der Bedarfsdeckung mit Rohstoffen für den Betrieb der Anlage, die Einbindung der wesentlichen Akteure ein entscheidender Faktor ist. Schon im Rahmen dieses Projekts wurden Methoden entwickelt, mit deren Hilfe diese Erhebungen zielgerichtet und objektiv durchgeführt werden können.

Seitens der Bedarfsdeckung zeigte sich auch in dem angesprochenen Projekt die unmittelbare Problematik der Konkurrenzsituation beim Einsatz von nachwachsenden Rohstoffen. Der Bezug der Substrate aus der umliegenden Region ist ein wesentliches Kriterium für die Wirtschaftlichkeit von Biogasanlagen. Dafür müssen auch entsprechend Anbauflächen zur Verfügung gestellt werden. Gleichzeitig erheben aber auch andere Akteure Ansprüche auf diese Anbauflächen, z.B. für die Produktion von Nahrungsmitteln. Verschärft wird diese Problematik auch durch die Notwendigkeit der Verfügbarkeit von Ausbringflächen für das vergorene Substrat, wodurch sich Konflikte mit dem Flächenbedarf für die Tierhaltung ergeben können.

Seitens der Bedarfsdeckung mit vergärbaren, nachwachsenden Substraten stehen die Faktoren „Verfügbarkeit“ und „Eignung“ der Rohstoffe sowie die „Akzeptanz“ von Energiepflanzen und Biogasanlagen im Allgemeinen in unmittelbarem Zusammenhang. In dem angesprochenen Projekt wurden genau diese Fragestellungen erkannt. Eine systematische Vorgehensweise war zu diesem Zeitpunkt jedoch noch nicht entwickelt und führte in der Folge zur Durchführung des EdZ-Projekts „Biogasakzeptanz“.

Weitere Projekte, auf die das Projekt „Biogasakzeptanz“ aufbaut, sind im Folgenden zitiert:

„Machbarkeitsstudie zur Aufbereitung von Biogas für die Einspeisung in das Erdgasnetz“ (Autor: Profactor, 2003, nicht veröffentlicht)

Im Rahmen dieser Studie wurde eine Erhebung möglicher Substrate für eine Biogasanlage im Raum Salzburg/Flachgau durchgeführt. Dabei wurde die Problematik der Verfügbarkeit von Substraten im Raum Salzburg/Flachgau evident. Österreichweit bestehen beträchtliche regionale Unterschiede hinsichtlich der möglichen Produktion von Energiepflanzen, die die Konzeption und Betriebsweise einer Biogasanlage beeinflussen. Um diese regionalen Unterschiede bestmöglich berücksichtigen zu können, ist es notwendig, entsprechendes flächendeckendes Material zur Verfügbarkeit von NAVAROS bereitstellen zu können.

„Grüne Bioraffinerie – Integrierte Grasnutzung als Eckstein einer nachhaltigen Kulturlandschaftsnutzung“, Kromus S., Narodoslawsky M., Krotscheck C. (2002) aus „Berichte aus Energie- und Umweltforschung“ 18/2002

Diese Studie beinhaltet Ergebnisse der Arbeiten auf dem Gebiet der Produktion, Charakterisierung und Verarbeitung des Rohstoffs Wiesengrünmasse bzw. Silage, mit einer klaren Ausrichtung zu Biogas. Zusätzlich erarbeiteten und modellierten die Projektbeteiligten einen Biogasreferenzprozess, der in einer Modellanlage umgesetzt wurde.

„Biomassebewirtschaftungskonzepte auf Basis einer Nutzensoptimierung“ Geissler S., Gupfinger H., Haberl H., Jorde T., Adensam H. (1998) aus „Berichte aus Energie- und Umweltforschung“ 2/1999

In dieser Studie wird eine Reihe von Empfehlungen zur Steigerung der Effizienz der Biomassenutzung gegeben.

1.3. Einpassung in die Programmlinie „Energiesysteme der Zukunft“

Der Begriff „Nachhaltigkeit“ spielt in der Programmlinie „Energiesysteme der Zukunft“ eine zentrale Rolle. „Nachhaltigkeit“ umfasst sowohl ökologische, ökonomische und soziale Aspekte. Dies bedeutet, dass bei der Auseinandersetzung mit Nachhaltigkeit schon aus der Definition heraus Innovationen weit über die bloße Technologie hinausgehen müssen. „Biogasakzeptanz“ trägt dem Rechnung, in dem alle drei Aspekte angesprochen werden.

Ein besonderer Fokus des Projekts liegt auch in der Regionalität dezentraler Energieversorgung. Transporte von Energieträgern sind ein wesentlicher Faktor für die Wirtschaftlichkeit und nehmen vor allem Einfluss auf die Ökobilanz der Energiebereitstellung. Der regionalen Akzeptanz und Verfügbarkeit von erneuerbaren Energieträgern, z.B. in der Form von Energiepflanzen, ist daher besonderes Augenmerk zu schenken. Durch die Entwicklung des Werkzeuges in diesem Projekt wird ein wesentlicher Beitrag dazu geleistet, indem quantitativ und qualitativ die regionalen Aspekte erfasst werden. Durch die Einbindung der regionalen Landwirtschaft in die Wertschöpfungskette der Energiebereitstellung wird die Region gestärkt und ein Beitrag zur Landschaftspflege erbracht. Der Wandel vom Land- zum „Energiewirt“ ist bei gegebenen Rahmenbedingungen durchaus attraktiv.

1.4. Beitrag zum Gesamtziel der Programmlinie „Energiesysteme der Zukunft“ und den sieben Leitprinzipien nachhaltiger Technologieentwicklung

Auf diese Programmlinie bezogen bedeutet „Nachhaltigkeit“ die Umstellung von fossilen Energieträgern auf erneuerbare. Dies darf jedoch nicht pauschal gesehen, sondern muss regional betrachtet werden. Transporte von Energieträgern sind ein wesentlicher Faktor für die Wirtschaftlichkeit und nehmen vor allem Einfluss auf die Ökobilanz der Energiebereitstellung. Der regionalen Akzeptanz und Verfügbarkeit von erneuerbaren Energieträgern, z.B. in der Form von Energiepflanzen, ist daher besonderes Augenmerk zu schenken. Durch die Entwicklung des Werkzeuges in diesem Projekt wird ein wesentlicher Beitrag dazu geleistet, indem quantitativ und qualitativ die regionalen Aspekte erfasst werden. Durch die Einbindung der regionalen Landwirtschaft in die Wertschöpfungskette der Energiebereitstellung wird die Region gestärkt und ein Beitrag zur Landschaftspflege erbracht. Der Wandel vom Land- zum „Energiewirt“ ist bei gegebenen Rahmenbedingungen durchaus attraktiv.

Die Akzeptanz von Biogasanlagen als solche bzw. die Akzeptanz von Energiepflanzen in der Landwirtschaft gilt es durch das Projekt zu fördern. Die Voraussetzungen dafür sind in der Tatsache, dass es sich bei Biogas um eine Kohlendioxid-neutrale Energiebereitstellung handelt (zumindest was den Energieträger betrifft), in erhöhtem Ausmaß gegeben. Bei entsprechender technischer Ausstattung auf dem Stand der Technik kann die regionale Akzeptanz der Anlagen durch Information und Einbindung der Betroffenen im weitesten Sinne mit Hilfe des entwickelten Werkzeuges erreicht werden.

Den sieben Leitprinzipien der nachhaltigen Technologieentwicklung, die in Umsetzung der allgemeinen Forderung nach nachhaltiger Entwicklung formuliert wurden, wird in vielerlei Hinsicht entsprochen: Die Dienstleistungs-, Service- und Nutzenorientierung wird realisiert, indem die Ergebnisse des Projekts vor allem für Dienstleistungen verwendet werden können, welche genau die geforderten Funktionen ansprechen, nämlich eine umfassende Optimierung der Energiebereitstellung. Das heißt, die Versorgungsüberlegungen werden durch Aspekte wie regionale Akzeptanz bzw. Verfügbarkeit als zu erfüllende Kriterien ergänzt bzw. erst ermöglicht.

Die stoffliche Versorgung (Substrat) wird dabei durch den Einsatz nachwachsender Ressourcen (Energiepflanzen) gesichert. Da das vergorene Substrat ein wertvoller Dünger in der Landwirtschaft ist, werden durch die Ausbringung auf die Felder die Stoffkreisläufe gemäß den Kriterien einer nachhaltigen Wirtschaft geschlossen. Durch den Einsatz von heimischen nachwachsenden Energiepflanzen werden regionale Rahmenbedingungen berücksichtigt und die regionale Wertschöpfung erhöht.

Die positiven Auswirkungen auf die Beschäftigungssituation sind vor allem im Bereich der Landwirtschaft als Lieferant von Energiepflanzen für Biogasanlagen zu erkennen. So dürften einige tausend Arbeitsplätze gesichert bzw. regional geschaffen werden. ÖkR Rudolf Schwarzböck, Präsident der Präsidentenkonferenz der Landwirtschaftskammern Österreichs, spricht in diesem Zusammenhang

von bis zu 6.000 zusätzlichen Arbeitsplätzen im ländlichen Raum [Strom und Wärme aus Biogas, der Bauer als Energielieferant, 2003].

Die Flexibilität und Anpassungsfähigkeit des zu entwickelnden Werkzeuges sind Voraussetzung für die erweiterte und fortgeführte Anwendung des Tools. Durch die klare Zielrichtung, die Akzeptanz von Biogasanlagen in einer bestimmten Region bzw. die Akzeptanz von Energiepflanzen in der regionalen Landwirtschaft zu fördern, ist eine Adaptierung des Werkzeuges von sich aus gewährleistet.

1.5. Zielgruppen und Umsetzungs- / Verbreitungspotenziale

Die in diesem Projekt angesprochenen Zielgruppen sind vor allem zukünftige Betreiber von Biogasanlagen mit Energiepflanzen, Regionalentwickler, die Impulse in einer bestimmten Region entwickeln wollen, sowie Entscheidungsträger auf Landes- und Bundesebene. Weiters profitieren auch Anlagenbauer und Generalunternehmer von dem Werkzeug als Hilfsmittel zur Planung optimierter Anlagen. Nicht zuletzt sind auch immer mehr Energieversorgungsunternehmen an der Biogastechnologie interessiert.

Der Nutzen des im Projekt entwickelten Werkzeuges liegt in der exakten Abschätzbarkeit, ob eine Biogasanlage mit Energiepflanzen in einer bestimmten Region Akzeptanz findet, bzw. Kenntnis darüber, welche Personen und Interessentenkreise einbezogen werden müssen, um eine möglichst hohe Akzeptanz zu erreichen, aber auch um einen nachhaltig wirtschaftlichen Betrieb und die Bedarfsdeckung an Energiepflanzen sicherzustellen.

Es kann damit besser gewährleistet werden, dass private Investitionen und öffentliche Fördermittel gezielt und mit weniger Risiko in den Ausbau der dezentralen Energieversorgung mit erneuerbaren Energieträgern getätigt werden können.

Damit ergibt sich ein klares Umsetzungspotenzial für das Projekt. Jede in Planung bzw. in Bau befindliche Biogasanlage kann die Projektergebnisse nutzen, um die Versorgung mit Substraten sowie die regionale Akzeptanz abzusichern. Nach Literaturangaben (Strom und Wärme aus Biogas, der Bauer als Energielieferant, Österreichischer Biomasseverband, 2003) kann bis 2009 sogar mit der Errichtung von 300 bis 500 neuen Biogasanlagen gerechnet werden. Damit ist langfristig ein großes Verbreitungspotenzial für das entwickelte Werkzeug gegeben.

Weiters bestehen bereits bei Projektende Anfragen aus Deutschland zur Anwendung des Tools. Die Interessenten wurden ohne bisherige aktive Bewerbung der Projektergebnisse via Homepage darauf aufmerksam.

Die Verbreitung der Projektergebnisse wird in Absprache mit der FFG und BMVIT durch die Projektpartner vorangetrieben. Publikationen sind geplant, die dazu dienen, das Tool einer breiten Öffentlichkeit bekannt zu machen.

1.6. Fokus und Schwerpunkte der Arbeit

Der Fokus des Projekts „Biogasakzeptanz“ liegt darin, eine Entscheidungshilfe in Form eines Softwaretools sowie zugehöriger Beschreibung des Gesamtsystems zu erstellen. Dieses Projekt leistet damit Unterstützung für die Standortwahl und Detailplanung von mit Energiepflanzen betriebenen Biogasanlagen. Durch die Bereitstellung eines standardisierten Modells und von Empfehlungen für die Vorgehensweise zur Erhebung der Akzeptanz können Entscheidungen effizienter und objektiver getroffen werden.

Die Schwerpunkte der vorliegenden Arbeit liegen einerseits in der Bereitstellung des nötigen Substrates, wobei die Verfügbarkeit ebenso wie die Eignung der einzelnen Pflanzenarten beleuchtet wird, und andererseits in der Akzeptanz von Anlage und Energiepflanzen bei Bevölkerung, Landwirten und den zuständigen Behörden.

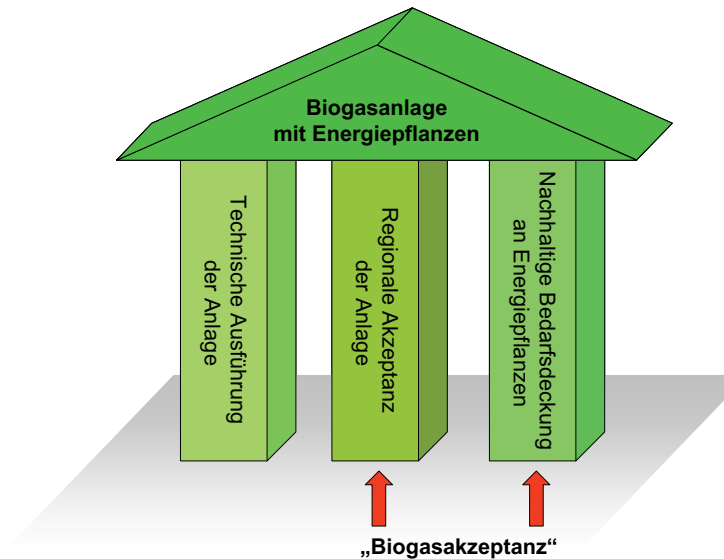


Abbildung 1: 3-Säulen Modell

„Biogasakzeptanz“ ab. Forschungen auf diesen beiden Gebieten wurden in der Vergangenheit immer vernachlässigt und daher im gegenständlichen Projekt gezielt in Angriff genommen.

Bisher wurde viel in die Erforschung der technischen Ausführung von Biogasanlagen investiert, und in der Tat ist nach wie vor entsprechendes Potenzial für Weiterentwicklung vorhanden. Um Anlagen hinsichtlich der gesamt-wirtschaftlichen Bedeutung zu verbessern, ist auch die Berücksichtigung sozio-ökonomischer Faktoren von großer Bedeutung. Dies ist die Grundlage für „Biogasakzeptanz“. Vereinfacht ist dieser Sachverhalt in der Abbildung 1 dargestellt.

Das Projekt „Biogasakzeptanz“ zielte bewusst nur auf die beiden Säulen „Regionale Akzeptanz der Anlage“ und „Nachhaltige Bedarfsdeckung an Energiepflanzen“ ab.

1.7. Projektablauf

„Biogasakzeptanz“ beschäftigt sich mit den drei Themenblöcken

- „Regionale Verfügbarkeit von Energiepflanzen“
- „Eignung von Energiepflanzen zur Vergärung“
- „Akzeptanz von Energiepflanzen und Biogasanlagen“

Dementsprechend wurden die Arbeitspakete strukturiert: die Arbeitspakete 1–3 haben die intensive Erarbeitung der genannten Themen zum Inhalt, welche dann im Arbeitspaket 4 in ein Gesamt-Tool implementiert wurden. Arbeitspakete 5 bzw. 6 haben schließlich die Test-Anwendung bzw. die Verbesserung des Tools zum Inhalt.

Der vorliegende Endbericht trägt der Struktur des Projekts Rechnung und beschreibt, nach einer **Einleitung (Kapitel 1)**, einer genaueren Auseinandersetzung mit den **Zielen des Projekts und deren Erreichung (Kapitel 2)** und Einführung in die **Projektergebnisse (Kapitel 3)** die Ergebnisse des Projekts im Detail. Die Autoren der Kapitel sind entsprechend angegeben.

- **Verfügbarkeit von Energiepflanzen, Kapitel 4:** HBLuFA Francisco Josephinum Wieselburg: BLT – Biomass, Logistics, Technology; Autoren: Franz Handler, Franz Heinzlmaier, Josef Rathbauer, Emil Blumauer
- **Eignung von Energiepflanzen für die Vergärung, Kapitel 5:** Institut für angewandte Mikrobiologie, BOKU Wien; Autoren: Peter Holubar, Julia Brändle

- **Akzeptanz von Energiepflanzen und Biogasanlagen, Kapitel 6**, Profactor Produktionsforschungs GmbH; Autoren: Werner Ahrer, Steven Trogisch, Konrad Reindl, Nikolaus Weran
- **Studia – Studienzentrum für Internationale Analysen**; Autor: Wolfgang E. Baaske
- **Erstellung des Tools, Kapitel 7**; Autoren: Alle Projektpartner
- **Pilotanwendung des Tools, Kapitel 8**; Autoren: Alle Projektpartner
- Verwertung der Ergebnisse, Schlussfolgerungen und Ausblick / Empfehlungen sind schließlich in den Kapiteln 9 bis 11 zu finden und enthalten Beiträge aller Projektpartner.

An dieser Stelle sei allen Projektpartnern herzlich für die gute Zusammenarbeit im Projekt gedankt !

2. Ziele des Projekts „Biogasakzeptanz“

Im Folgenden sind die Projektziele dargestellt und deren Erreichung beschrieben.

- Entwicklung eines Werkzeuges zur Bewertung der regionalen Akzeptanz von Biogasanlagen sowie der Akzeptanz von Energiepflanzen in der regionalen Landwirtschaft

Für die Erhebung der Akzeptanz wurde ein Fragebogen entwickelt (Anhang). Die Eingabe der Daten erfolgt durch den Interessenten/Betreiber der Umfrage selbst über das Internet. Für jeden Anwendungsfall wird nach einer kostenlosen Registrierung ein Datenbank-Eintrag vorgenommen, auf den der Betreiber der Umfrage Zugang hat. So können die Daten der einzelnen Fragebögen elektronisch abgelegt und auf „Mausklick“ automatisch ausgewertet werden. Der Umfang des Tools beinhaltet eine Checkliste mit entsprechenden Hilfsmitteln wie Kalkulationsprogramme, die sich durch eine vorgegebene Form auszeichnen und bedienerfreundlich und anwenderorientiert aufbereitet sind. Das gesamte Material ist online verfügbar.

- Erhebung der Eignung von Energiepflanzen aufgrund deren Zusammensetzung

Die Eignung von 14 ausgewählten Energiepflanzen wurde aufbauend auf wissenschaftlichen Daten auf die Kriterien „Methangärung“, „Bereitstellung und Lagerung“ und „Düngerqualität“ aggregiert. Die Implementierung im Tool erlaubt eine individuelle Gewichtung dieser Faktoren und ergibt als Resultat eine entsprechende Reihenfolge bevorzugter Pflanzen als Substrat für Biogasanlagen. Alle Daten wurden in die Datenbank der Homepage eingespielt und können nach Registrierung des Users per Internet heruntergeladen werden.

- Erhebung der Verfügbarkeit von Energiepflanzen aufgrund deren Anforderungen an den Boden und klimatischen Verhältnissen

Die Verfügbarkeit von ausgewählten Energiepflanzen und Fruchtfolgen wurde auf Basis von IN-VEKOS-Daten auf Ebene der österreichischen Kleinproduktionsgebiete erhoben und in Regiograph-Karten dargestellt. Der Auseinandersetzung mit der Problematik der Konkurrenzsituation zwischen Energiepflanzenanbau, Nahrungsmittelanbau und Tierhaltung wurde auf regionaler Ebene Rechnung getragen und in weiterem Kartenmaterial und beschreibenden Kommentaren dargelegt. Alle Daten wurden in die Datenbank der Homepage eingespielt und können nach Registrierung des Users per Internet heruntergeladen werden.

- Handbuch zur ausführlichen Beschreibung des Werkzeuges und Anleitung zur Handhabung des Fragebogeninstruments

Das Arbeitshandbuch mit den entsprechenden Hintergründen zur Akzeptanzanalyse liegt vor und ist online verfügbar. Weiters steht dem Benutzer eine Interpretationshilfe für die automatisch errechneten Analysenergebnisse zur Verfügung.

- Erstellung der Ökobilanz von Energiepflanzen sowie wirtschaftlich relevanter Kennzahlen

Im Rahmen einer Diplomarbeit wurde die Ökobilanz und Wirtschaftlichkeit von Energiepflanzen erarbeitet. Alle Ergebnisse sind als weiterer Informationsblock online verfügbar.

- Test des Werkzeugs anhand einer konkreten Anwendung und Präsentation der Ergebnisse

Die Projektergebnisse, im Speziellen das erarbeitete Tool zur Erhebung der Akzeptanz von Biogasanlagen wurde an einer im Bau befindlichen Biogasanlage in Oberösterreich angewendet und

getestet. Bei der betreffenden Anlage handelt es sich um eine 150 kW_{el} Anlage auf Basis von NAWARO. Die Besonderheit der Anlage liegt vor allem in der Lage: sie befindet sich in unmittelbarer Ortsrandlage, das Gemeindezentrum ist nur ca. 400 m entfernt. Die Erhebung hat in diesem Fall eine sehr hohe Akzeptanz ergeben. Dies zeigte sich auch in der hohen Rücklaufquote der Fragebögen von knapp 70 %. In einer abendlichen Präsentation vor ca. 70 Teilnehmern stellten die Projektpartner die Ergebnisse vor.

➤ Evaluierung der Ergebnisse, Verbesserungsvorschläge für das Werkzeug aus den Testergebnissen

Aus den Ergebnissen der Pilotanwendung wurden noch leichte Modifikationen am Tool vorgenommen. Diese betrafen jedoch nicht die Methodik als solche, da sie sich im Anwendungsfall sehr gut bewährt hat. Vielmehr wurden noch kleinere Korrekturen in der Beschreibung des Tools und in der Darstellung der Ergebnisse vorgenommen, um die Bedienerfreundlichkeit zu verbessern.

➤ Einrichtung einer Homepage, auf der das erarbeitete Tool sowie die notwendigen Hintergrund-Daten verfügbar gemacht werden

Das gesamte Tool zur Erhebung der Akzeptanz inklusive aller Materialien betreffend Eignung, Verfügbarkeit, ökologische und ökonomische Bewertung von Energiepflanzen ist auf der Website www.biogasakzeptanz.at verfügbar. Diese Website hat als Basis einerseits eine Datenbank, welche die genannten Daten enthält und andererseits bietet sie auch die Möglichkeit, individuelle Daten (Fragebögen) abzulegen. Interaktive Komponenten erlauben anwenderorientierte Abfragen und Bewertung von Informationen. Um Missbrauch vorzubeugen, wurde dieser Bereich nur nach kostenloser Registrierung zugänglich gemacht.

3. Inhalte und Ergebnisse des Projekts

3.1. Verwendete Methoden und Daten

Die Daten, welche zum einen für die **Darstellung der Nutzung der landwirtschaftlichen Flächen in Österreich** und zum anderen für die **Potenzialberechnungen** zur Energiepflanzenerzeugung herangezogen wurden, stammen aus dem Integrierten Verwaltungs- und Kontrollsystem (INVEKOS) zur Förderungsabwicklung in der Landwirtschaft des Jahres 2003. Dieses wurde 1995 mit dem Beitritt zur EU in Österreich eingeführt. Um an diesem Förderungsprogramm teilnehmen zu können, müssen jährlich Anträge mit detaillierten Angaben über den Anbau der einzelnen Feldfrüchte pro Feldstück gestellt werden.

Das INVEKOS basiert auf der VO 3508/92 und der VO 2419/2001 und dient der Abwicklung und Kontrolle der EU-Förderungsmaßnahmen.

Alle flächen- und tierbezogenen Beihilfenregelungen sind in dieses System eingebunden. Es schreibt unter anderem vor:

- ein umfassendes Datenbanksystem
- ein System zur Identifizierung der landwirtschaftlich genutzten Parzellen
- ein System zur Identifizierung und Erfassung von Tieren
- nähere Details hinsichtlich der Beihilfenanträge und deren Änderungsmöglichkeiten
- ein integriertes Kontrollsystem (BMLFUW, 2004)

Für die Berechnung der **Gas -und Methanausbeute** wurde eine Methode gewählt, die vom aid Infodienst Verbraucherschutz, Ernährung, Landwirtschaft e.V (Biogasanlagen in der Landwirtschaft 2003) und der Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V. empfohlen wird und von uns mit Literaturwerten verglichen wurde.

Ausgangspunkt der Überlegungen waren folgende Annahmen:

- Die Umsetzungen in einem Gärbehälter verlaufen ähnlich den Umsetzungsprozessen in einem Rindermagen.
- Der theoretisch mögliche Biogasertrag eines Substrats und der Wert bestimmende Anteil an Methan im Biogas wird im Wesentlichen durch den Gehalt an Proteinen, Fetten und Kohlenhydraten sowie der Verdaulichkeit dieser Stoffgruppen bestimmt.
- Baserga (1998) veröffentlichte eine Methode zur Ermittlung von Biogasausbeuten mittels der Inhaltsstoffe Rohfaser, Rohprotein, Rohfett und N-freie Extraktstoffe.

Somit können für Futtermittel aus Rohnährstoffgehalten, den entsprechenden Verdauungsquotienten und den spezifischen Gaserträgen der einzelnen Stoffgruppen näherungsweise die theoretischen Gasausbeuten und Methangehalte berechnet werden.

Für Recherchen im Bereich der **Akzeptanzbewertung** wurden rund 30 Quellen herangezogen. Feststellbar sind einerseits Entwicklungen in Systematiken zur Akzeptanzanalyse, sowie spezielle Anwendungen auf die Felder „Erneuerbare Energie“, „Biomasse“, „Grüne Gentechnik“, „der Landwirt als Energiewirt“.

Mit einzelnen Akteuren wie der Universität Innsbruck und dem Umweltforschungszentrum Halle-Leipzig wurde fachlicher Kontakt aufgenommen.

Mit folgenden Experten wurden Interviews geführt:

- Dipl.-Ing. Ferdinand Reinthaler, BBK-Sekretär Steyr-Kirchdorf
- Ing. Karl Langeder, BBK-Mitarbeiter / Beratung Biogas-Anlagen
- Mag. Helmut Eiselsberg, Unternehmensberater, LWK Linz
- Lieferanten von Hackschnitzelanlagen / Welser Messe „Agraria“
- Lieferanten von Maschinen für Biogas-Anlagen / Welser Messe „Agraria“

Die Erhebung der Akzeptanz für konkrete Anwendungsfälle erfolgte vorwiegend mit Hilfe eines neu entwickelten Fragebogens. Die Auswertung erfolgte nach Eingabe der Rohdaten über die Internet-Homepage automatisch.

Die Erstellung der **ökologischen Bewertung** erfolgte nach den Grundlagen der ISO 14040, die nötigen Emissionsdaten wurden großteils aus dem Gemis 4.1 übernommen. Die Aufwandsmengen kommen hauptsächlich aus dem Standarddeckungsbeitrag 2002/03, Ausgabe Westösterreich, und aus Anfragen bei der BLT-Wieselburg.

Die Daten der **ökonomischen Bewertung** resultieren ebenfalls aus Besprechungen mit Experten der BLT-Wieselburg und aus dem Standarddeckungsbeitrag. Zusätzlich wurden beim Maschinenring und anderen Lohnunternehmern Preisanfragen durchgeführt.

Die **Programmierung** der Datenbank erfolgt in einem eigenen, von der Firma DataPro in C++ programmierten System, welches vorwiegend für solche und ähnliche Anwendungen konzipiert wurde.

3.2. Stand der Technik

Der Stand der Technik aus der Sicht der Biogasanlagentechnik bzw. der Substrataufbereitung ist vor allem für den Bereich der Eignung von Energiepflanzen zur anaeroben Vergärung relevant. Derzeitige Verfahren sind häufig nicht gut geeignet, da die Eigenschaften von Energiepflanzen, wie zum Beispiel die Neigung zur Schwimmdeckenbildung, in den existierenden Fermentations- und Ko-Fermentationstechnologien Probleme im Betrieb verursachen können. Zudem haben Erfahrungsberichte gezeigt, dass der Energieaufwand zur Vorbereitung der Gärsubstrate sowie zur Durchmischung des Fermenterinhalt hoch ist (Quelle: Landwirt DI. Hermann Jöchtl, Biogasanlagenbetreiber mit Energiepflanzen).

Stillgelegte Anbauflächen können in der Europäischen Union zum Anbau von nachwachsenden Rohstoffen genutzt werden. Der Prozentsatz der erlaubten Stilllegungsflächen an der Gesamtanbaufläche wird von Seiten der EU festgelegt und orientiert sich an der Getreideproduktion (Verordnung (EG) 1251/1999 und die Durchführungsverordnungen (EG) 2316/1999 und (EG) 2461/1999). Seit dem Jahr 1996 liegt dieser Prozentsatz bei 10 % (Wörgetter, 2001). Der weitaus überwiegende Teil wird als Grünbrache nicht bebaut. Auf rund 14.394 ha wurden 2002 nachwachsende Rohstoffe angebaut, davon waren der überwiegende Anteil Öl-Sonnenblumen (2.318 ha oder 2,2 %) und Raps zur Produktion von Rapsmethylester (9.771 ha oder 9,4 %). Speziell zur Biogasproduktion wurden im Jahr 2002 vor allem Getreide (2,4 ha), Mais (68 ha) und andere nicht näher spezifizierte Kulturen (65 ha) angebaut (Schantl und Spanischberger, 2002).

Die Verfügbarkeit von Energiepflanzen ist nach dem derzeitigen Stand der Technik am besten zu erheben. Es gibt dazu bereits Erhebungen in Österreich, mit dem Ziel, die örtliche Wachsfreudigkeit unterschiedlicher Energiepflanzen zu erfassen. Für dieses Projekt werden diese Bereiche durch einen Werkvertragnehmer abgedeckt, wobei der Umfang dem geringen Ausmaß der notwendigen Arbeiten angepasst ist.

Neben den rein technischen Vorbehalten sind aber speziell für die Akzeptanz von Biogasanlagen vor allem auch nicht-technische Vorbehalte zu sehen. Hier ist der „Stand der Technik“ der, dass Biogasanlagen häufig mit Skepsis betrachtet werden und Geruchsprobleme, erhöhtes Verkehrsaufkommen durch Gärguttransport, Explosionsgefahr und ähnliches mehr befürchtet werden. Dies führt bei einer unvorsichtigen Vorgehensweise zu einer geringen Akzeptanz bei Nachbarn und Anrainern und damit auch zu einer geringen Marktverbreitung durch Aufbau eines Negativ-Images und schlechten Referenzen. Von Entscheidungsträgern in den Kommunen und Ländern werden diese Bedenken von Anrainern und Nachbarn ernst genommen, was der Förderung der Errichtung von Biogasanlagen nicht dienlich ist.

Weitere beteiligte Gruppen sind natürlich jene, welche das Gärsubstrat in der Form von Energiepflanzen zur Verfügung stellen sollen. Es handelt sich dabei vor allem um Landwirte, für die der Anbau von Energiepflanzen eine zusätzliche Einkommensquelle darstellen kann bzw. die selbst eine Biogasanlage mit Energiepflanzen betreiben und Erlöse aus dem Verkauf von Elektrizität, Wärme/Kälte sowie Dünger generieren können. Für die Akzeptanz von Energiepflanzen in der Landwirtschaft spielen somit eine Reihe von Faktoren eine Rolle, wie zum Beispiel das Vorhandensein von geeignetem Grund und Boden, von Maschinen zur Feldbereitung, Aussaat, Feldpflege und Ernte, die Abschätzbarkeit von Risiken (Ernteausfälle) sowie das Vorhandensein von Know-How bzw. die Bereitschaft, neues Wissen sich anzueignen. Diese Vorbehalte reichen bis hin zur Ethik und Moral, indem die Vergärung von als Nahrungsmittel geeigneten Pflanzen in der Gesellschaft nur eingegrenzt toleriert wird.

3.3. Innovationsgehalt des Projektes „Biogasakzeptanz“

Wie in Kapitel 1.6 beschrieben, gibt es sowohl technische als auch soziale und sozio-ökonomische Barrieren gegen eine weit verbreitete Errichtung von Biogasanlagen unter Verwendung von Energiepflanzen. Das Projekt zielt auf eine Verbesserung der Situation hinsichtlich der Akzeptanz von Biogasanlagen generell sowie von Energiepflanzen als Gärsubstrat ab. Technische Verbesserungspotenziale seitens der Anlagentechnik werden im Rahmen dieses Projekts nicht erarbeitet, sondern der Schwerpunkt liegt eindeutig in der Erarbeitung eines Werkzeuges zur Erhöhung der Marktverbreitung von mit Energiepflanzen betriebenen Biogasanlagen durch systematische Erfassung der dafür relevanten Parameter. Aus den bisher gewonnenen Erfahrungen kann das Werkzeug zielgerichtet entwickelt und einer breiten Öffentlichkeit über den Auftraggeber des Projekts verbreitet werden. Dadurch kann die Situation bereits bei den ersten Planungsschritten dahingehend verbessert werden, dass die Interessensgruppen und relevanten Personenkreise umfassend und effizient identifiziert und rechtzeitig in den Planungs- und Entscheidungsprozess eingebunden werden können. Unbegründete Vorurteile gegenüber Biogasanlagen können damit verhindert bzw. rechtzeitig erkannt und aus dem Weg geräumt werden.

Betreffend die Akzeptanz von Energiepflanzen in der Landwirtschaft bringt das Projekt die entscheidende innovative Weiterentwicklung, indem erstmals durch ein Werkzeug alle dafür wesentlichen Parameter erfasst und für weitere Informations-, Aufklärungs- und Planungsaktivitäten verwendet werden können. Dies ist somit ein wesentlicher Beitrag, schon frühzeitig geeignete Standorte für

Biogasanlagen zu finden, unter Berücksichtigung der nachhaltigen Sicherstellung der Bedarfsdeckung an Energiepflanzen.

Die Erstellung von Informationen zur Eignung diverser Energiepflanzen zur anaeroben Vergärung in Form einer Datenbank ist dafür ein Beiwerk zum Werkzeug. Werte über Methanertrag, Kosten pro kg Trockensubstanz, Lagerfähigkeit usw. sind zwar in unterschiedlichen Publikationen bereits teilweise erhoben worden, eine Aufbereitung zu einem effizienten und aussagekräftigen Instrument wird in diesem Projekt in Angriff genommen.

Die Verfügbarkeit von Energiepflanzen in Abhängigkeit von den klimatischen Verhältnissen in den Regionen Österreichs ist ein weiterer Punkt, der für die Entwicklung des Werkzeugs notwendig ist, und wird daher in dem Projekt erstmals in diesem Zusammenhang durchgeführt. Bestehendes Datenmaterial wird durch extensive Recherche im Bereich Pflanzenbau-Literatur erfasst, fehlende Daten werden im Rahmen des Projekts erhoben. Das Ziel ist ein Beitrag zum Tool in der Form eines grafischen Energiepflanzen-Katasters.

3.4. Darstellung der Projektergebnisse

Das Projekt ist in 6 Arbeitspaketen abgewickelt worden. In den Arbeitspaketen 1 bis 3 wurden die Grundlagen für das zu erstellende Gesamtwerkzeug erarbeitet. Diese Grundlagen liegen im Bereich der Verfügbarkeit von Energiepflanzen (AP1), Eignung von Energiepflanzen zur Vergärung (AP2) und der Akzeptanz von Energiepflanzen bzw. von Biogasanlagen (AP3). Letzteres enthält auch die wirtschaftlichen und ökologischen Aspekte der Akzeptanz.

Die Erstellung des Tools als solches wurde in Arbeitspaket 4 subsumiert und diente der Implementierung der Datenbasis in ein anwenderorientiertes Werkzeug. Dieses Tool wurde anschließend in einer Pilotanwendung getestet (AP5) und in AP6 evaluiert und fertig gestellt. Die Beschreibung der Projektergebnisse erfolgt entsprechend der genannten Strukturierung.

4. Verfügbarkeit von Energiepflanzen

Zur Erhebung der Verfügbarkeit wurden zunächst eine Reihe von möglichen Energiepflanzen, die zur Biogasproduktion geeignet sind, ausgewählt und in einem Steckbrief wichtige pflanzenbauliche Merkmale aus vorhandener nationaler und internationaler Literatur zusammengefasst.

Die Situation erlaubt es nicht, dass in Österreich beliebig viele landwirtschaftliche Flächen für eine Erzeugung von Energiepflanzen zur Verfügung stehen, da sowohl Flächen für die Ernährung der Bevölkerung und von landwirtschaftlichen Nutztieren in Anspruch genommen werden.

Ziel der Erhebung der Verfügbarkeit ist es,

- zunächst einen Überblick über die derzeitige Nutzung der landwirtschaftlichen Nutzfläche in Österreich zu geben, sowie
- das Trockenmassepotenzial für die Biogaserzeugung an Hand von verschiedenen Szenarien darzustellen.

Als Datenbasis für die notwendigen Berechnungen diente INVEKOS (Integriertes Verwaltungs- und Kontrollsystem für die Förderungsabwicklung in der Landwirtschaft) mit den Daten des Jahres 2003. Die Ergebnisse sind in tabellarischer und graphischer Form dargestellt.

4.1. Auswahl der Kulturen und Parameter

Grundsätzlich sind alle Arten von Biomasse, die als Hauptkomponenten Kohlenhydrate, Eiweiß, Fette, Zellulose und Hemizellulose, jedoch nicht Lignin und lignininkrustierte Zellulose enthalten, bei ausreichendem Feuchtegehalt für die Erzeugung von Biogas geeignet (BAADER, 1990). Dies betrifft Grünpflanzen jeglicher Art. Sie werden entweder in frischem oder (durch Silierung) konserviertem Zustand dem anaeroben Abbauprozess zugeführt.

Aufgrund ökonomischer, klimatischer und pflanzenbaulicher Gesichtspunkte wird es nicht möglich sein, dass Grünpflanzen jeglicher Art von den Landwirten als Energiepflanzen angebaut werden. Anhand von praktischen Beispielen und Literaturzitatzen wurde in Abstimmung aller Projektpartner eine Auswahl von 14 möglichen Pflanzen getroffen, die für die Vergärung im Biogasprozess in Frage kommen, wobei es innerhalb dieser Gruppe natürlich wieder unterschiedliche Eignungskriterien gibt. Bei dieser Auswahl handelt es sich um folgende Kulturen:

- Mais
- Sudangras
- Sonnenblume
- Roggen
- Luzerne
- Ackergras
- Triticale
- Landsberger Gemenge
- Zuckerrübe
- Kartoffel
- Raps
- Lupine
- Sojabohne
- Chinaschilf (Miscanthus)

Für Landwirte, die an einem Betrieb einer Biogasanlage mit Energiepflanzen interessiert sind, wurde für die genannten Kulturen ein Steckbrief entworfen, in dem die wichtigsten pflanzenbaulichen Parameter beschrieben sind (Anhang 1). Mit dieser Information kann der Landwirt bereits eine Vorentscheidung treffen, ob die von ihm zum Anbau beabsichtigten Pflanzen in seiner Region geeignet sind

bzw. welche Pflanzen sich aufgrund der Bodenwasserverhältnisse, der Fruchtfolge und anderer Gründe in der jeweiligen Region eignen würden. In der Beschreibung der ausgewählten Energiepflanzen wurden folgende Parameter berücksichtigt:

- Bodenansprüche
- Klimaansprüche
- Wasseransprüche
- Aussaatzeitpunkt
- Nährstoffansprüche (pro ha)
- Möglichkeit einer Zweitfrucht
- Fruchtfolge (Selbstverträglichkeit)
- Erntezeitpunkt
- Erträge (von–bis)
- Mechanisierung

4.2. Datengrundlage

Die Daten, welche zum einen für die Darstellung der Nutzung der landwirtschaftlichen Flächen in Österreich und zum anderen für die Potenzialberechnungen zur Energiepflanzenenerzeugung herangezogen wurden, stammen aus dem Integrierten Verwaltungs- und Kontrollsystem (INVEKOS) zur Förderungsabwicklung in der Landwirtschaft des Jahres 2003. Es wurde 1995 mit dem Beitritt zur EU in Österreich eingeführt. Um an diesem Förderungsprogramm teilnehmen zu können, müssen jährlich Anträge mit detaillierten, feldstücksweisen Angaben über den Anbau der einzelnen Feldfrüchte gestellt werden. Alle flächen- und tierbezogenen Beihilfenregelungen sind in dieses System eingebunden. Es schreibt unter anderem vor:

- ein umfassendes Datenbanksystem
- ein System zur Identifizierung der landwirtschaftlich genutzten Parzellen
- ein System zur Identifizierung und Erfassung von Tieren
- nähere Details hinsichtlich der Beihilfenanträge und deren Änderungsmöglichkeiten
- ein integriertes Kontrollsystem (BMLFUW, 2004)

Die Fläche Österreichs setzt sich wie folgt zusammen:

Gesamtfläche = Landwirtschaftliche Nutzfläche + Waldfläche + Sonstige Flächen (Gewässer, verbautes Gebiet,)

Zur **Landwirtschaftlichen Nutzfläche (LN)** wiederum zählen:

Landwirtschaftliche Nutzfläche = Ackerland + Grünland + Hausgärten + Obstanlagen + Weingärten + Reb- und Baumschulen + Forstbaumschulen

4.2.1. Berechnungs- und Darstellungsmethode der Daten

4.2.1.1. Flächenbestand

Um einen besseren Vergleich der Anbausituation der landwirtschaftlichen Kulturen auf dem Acker zu haben bzw. einen Vergleich der Verteilung des Grünlands über Österreich, wurden die wichtigsten Ackerkulturen sowie die Komponenten des Grünlands und der Stilllegungsflächen als Anteile an der gesamten landwirtschaftlichen Nutzfläche der jeweiligen Gebiete grafisch als Landkarten dargestellt. Dabei ist es möglich, im Bewertungstool sowohl die Fläche in Hektar jeder einzelnen Kultur für ein Gebiet abzurufen als auch ihren Anteil an der dortigen landwirtschaftlichen Nutzfläche. Der zweite Parameter wird samt der grafischen Darstellung, die im Tool ebenso erhältlich ist, im Kapitel 4.5 „Ergebnisse der Potenzialberechnungen“ diskutiert.

4.2.1.2. Tierbestand

Die Tierbestände in den einzelnen Gebieten können im Bewertungstool als Anzahl der Tiere für die einzelnen Tierkategorien abgerufen werden. Für eine grafische Darstellung wurde eine Umrechnung der Tierbestände in Düngergroßvieheinheiten – DGVE (BMLFUW 2003) vorgenommen und diese auf die reduzierte landwirtschaftliche Nutzfläche (RLN)¹ bezogen. Dabei wurden aber nicht die Tierkategorien im Einzelnen dargestellt, sondern die jeweilige Tierart (Rinder, Schweine, Hühner) zusammengefasst.

Eine solche Art der Berechnung ist von Bedeutung für die Abschätzung des Düngereintrags und die Frage, wie viel Substrat aus dem Biogasprozess noch zusätzlich auf die vorhandenen Flächen ausgebracht werden kann. Laut Aktionsprogramm 2003 dürfen maximal 170 kg N/ha und Jahr in Form von Wirtschaftsdüngern ausgebracht werden. Dies entspricht einer Höchstgrenze von 2,83 GVE/ha, wenn man unterstellt, dass pro DGVE 60 kg N/Jahr anfallen. Zur Zeit wird aber noch diskutiert, ob der Gärrückstand von Biogasanlagen als Wirtschaftsdünger anzusehen ist oder nicht. Wird er nicht als Wirtschaftsdünger eingestuft, dürfen bis zu 210 kg N/ha und Jahr ausgebracht werden. Zusätzlich besteht die Möglichkeit, diesen Wert zu überschreiten, wenn eine wasserrechtliche Bewilligung vorliegt. Die grafische Darstellung der GVE/ha RLN erfolgt ebenso wie jene der Kulturen in Kapitel 4.5 „Ergebnisse der Potenzialberechnungen“.

4.3. Auswertungsebene der Daten

4.3.1. Kleinproduktionsgebiete (KPG)

Die Auswertung der Daten und in weiterer Folge die grafische und z.T. tabellarische Darstellung der Daten erfolgt für die 87 Kleinproduktionsgebiete (KPG) Österreichs. Unter einem Kleinproduktionsgebiet versteht man ein kleinräumiges Gebiet mit ähnlichen natürlichen, wirtschaftlichen und agrarstrukturellen Produktionsbedingungen. Je nach Lage dieses Gebietes in Österreich kann es aus nur wenigen (etwa 5–10) bis vielen (über 100) Gemeinden bestehen. Nachfolgend sind die 87 Kleinproduktionsgebiete angeführt:

KPG Code	Kleinproduktionsgebiet	KPG Code	Kleinproduktionsgebiet
101	Hinterer Bregenzerwald	401	Mittellagen des Mühlviertels
102	Montafon	402	Hochlagen des Mühlviertels
103	Oberes Inntal	403	Hochlagen des Waldviertels
104	Mittleres Inntal	404	Nordwestliches Waldviertel
105	Unteres Inntal	405	Mittellagen des Waldviertels
106	Westtiroler Zentralalpentäler	406	Südliches Waldviertel
107	Mitteltiroler Zentralalpentäler	501	Westliches Kärntner Becken
108	Kitzbühler Gebiet	502	Östliches Kärntner Becken
109	Lech- und Tannheimertal	503	Unteres Lavanttal u. Randlagen

¹ Sie setzt sich zusammen aus den normalertragsfähigen Flächen (Ackerland, Hausgärten, Obstanlagen, Weingärten, Reb- und Baumschulen, Forstbaumschulen, mehrmähdigen Wiesen, Kulturweiden), den mit Reduktionsfaktoren umgerechneten extensiven Dauergrünlandflächen (einmähdige Wiesen, Hutweiden, Streuwiesen, Almen und Bergmähder). Die Reduktion für extensive Dauergrünlandflächen beträgt: Einmähdige Wiesen: generell auf die Hälfte ihrer Fläche, Hutweiden: im Burgenland und in Niederösterreich auf ein Viertel, in den anderen Bundesländern auf ein Drittel, Streuwiesen: generell auf ein Drittel, Almen und Bergmähder: in Niederösterreich auf ein Drittel, in der Steiermark auf ein Viertel, in Oberösterreich auf ein Fünftel, in Salzburg auf ein Sechstel, in Kärnten und Vorarlberg auf ein Siebtel, in Tirol auf ein Achtel.

KPG Code	Kleinproduktionsgebiet	KPG Code	Kleinproduktionsgebiet
110	Außerfern und Senke von Ehrwald	601	Leiblachtal, Rheintal - Walgau
111	Nordtiroler Kalkalpen	602	Halleiner Becken
112	Osttiroler Hochalpentäler	603	Flachgau
113	Lienzer Becken	604	Oberes Innviertel
114	Ober- und Unterpinzgau	605	Altheim-Obernberger Gebiet
115	Mitterpinzgau	606	Rieder Gebiet
116	Gastein - Rauriser Gebiet	607	Vöcklabrucker Gebiet
117	Lungau	608	Grieskirchen-Kremsmünster Gebiet
118	Salzachpongau	609	Oberösterreichischer Zentralraum
119	Ennspongau	610	Haag- Amstettener Gebiet
120	Oberkärntner Täler	611	Wieselburg-St. Pöltener Gebiet
121	Oberes Gail- und Lesachtal	701	Weststeirisches Hügelland
122	Steirisches Salzkammergut	702	Steirische Weinbaugebiete
123	Ennstal u. Seitentäler	703	Ebenen des Murtales
124	Steirische Kalkalpen	704	Oststeirisches Hügelland
125	Murau-Oberzeiringer Gebiet	705	Südburgenländisches Obstbaugebiet
201	Vorderer Bregenzerwald	706	Südburgenländisches Hügelland
202	Salzkammergut	707	Südburgenländisches Weinbaugebiet
203	Tennengau	801	Wachau
204	Äußeres Salzkammergut	802	Westliches Weinviertel
205	Inneres Salzkammergut, Eisenwurzen	803	Östliches Waldviertel
206	Niederösterreichische Kalkalpen	804	Herzogenburg-, Tulln-, Stockerauer Gebiet
207	Westlicher Wienerwald	805	Hollabrunn- Mistelbacher Gebiet
208	Östlicher Wienerwald	806	Laaer Bucht
209	Thermenrand	807	Östliches Weinviertel
301	Gailtal, Karawanken	808	Marchfeld
302	Mittleres Drautal	809	Wiener Boden
303	Gurktaler Alpen	810	Baden- Gumpoldskirchener Gebiet
304	Sau- u. Packalpe	811	Steinfeld
305	Neumarkt- Obdacher Gebiet	812	Wulkabecken und Randlagen
306	Murboden, Mürz- u. Liesingtal	813	Oberpullendorfer Becken
307	Bucklige Welt	814	Weinbaugebiet Neusiedler See
308	Burgenländisches Bergland	815	Parndorfer Platte
309	Weststeirisches Bergland	816	Seewinkel

KPG Code	Kleinproduktionsgebiet	KPG Code	Kleinproduktionsgebiet
310	Oststeirisches Bergland	90001	Wien ²

Eine Darstellung der Daten auf Gemeindeebene wäre möglich, da die INVEKOS-Daten auf Gemeindebasis zur Verfügung gestellt wurden. Eine derart kleinstrukturierte Darstellung wäre jedoch nicht sinnvoll, da es hierbei oft zu Verzerrungen und Verfälschungen kommen kann. Als Beispiel dafür wäre folgende Situation zu nennen: Ein landwirtschaftlicher Betrieb hat seinen Hof in der Gemeinde X, seine Flächen liegen jedoch in den Gemeinden Y und Z. Eine gemeindeweise grafische Darstellung würde die Flächen dieses Hofes jedoch in die Gemeinde X einordnen und es würde sich, wenn man diese und auch andere derartige Situationen auf ganz Österreich umlegt, eine Verfälschung des zu generierenden Bildes entstehen. Die den einzelnen Kleinproduktionsgebieten zugehörigen Gemeinden sind in Anhang 2 aufgelistet.

Die grafische Darstellung der beschriebenen Daten auf KPG-Ebene erfolgt mit einem eigenen Computerprogramm, dem RegioGraph. Dieses soll im Folgenden kurz beschrieben werden.

4.3.2. RegioGraph

Mit dem GIS-Programm RegioGraph, Version 7 wurde die österreichweite grafische Darstellung der Anbauflächen landwirtschaftlicher Kulturen und der GVE-Besätze pro Hektar RLN vorgenommen. Als Grundlage dient eine Excel-Tabelle, in der die Daten schon in der gewünschten berechneten Form vorliegen und somit nach der Definition verschiedener Datenbereiche eine Einfärbung vorgenommen werden kann. Als Grundkarte stehen die österreichischen Gemeinden, Bezirke oder Bundesländer zur Verfügung, nicht jedoch die Kleinproduktionsgebiete. Deren Grenzen werden nach Zusammenfassen der jeweiligen Gemeinden zu den einzelnen Kleinproduktionsgebieten vom Programm generiert. Dabei entstehen jedoch Probleme bei der Beschriftung dieser Kleinproduktionsgebiete. Das Programm versucht, die Beschriftung möglichst zentral über die zum jeweiligen KPG zusammengefassten Gemeinden zu legen. Dabei kann es passieren, dass aufgrund spezieller Landschaftsformen der KPG (etwa eine sichelförmige Form) die Beschriftung außerhalb des gewünschten Bereiches platziert wird. Glücklicherweise trifft dieser Fall Österreich weit nur auf wenige Kleinproduktionsgebiete zu. Um spätere Verwirrungen zu vermeiden, sollen anhand der folgenden Österreichkarte mit den KPG-Grenzen die Zugehörigkeiten der Beschriftungen demonstriert werden. Weiters kommt es vor, dass KPGs durch ein anderes unterbrochen werden, in diesen Fällen wurden sie in

Abbildung 2 mit der gleichen Farbe markiert.

² Die Stadt Wien ist normalerweise auf mehrere KPGs aufgeteilt, wurde aber hier als eigenes KPG definiert

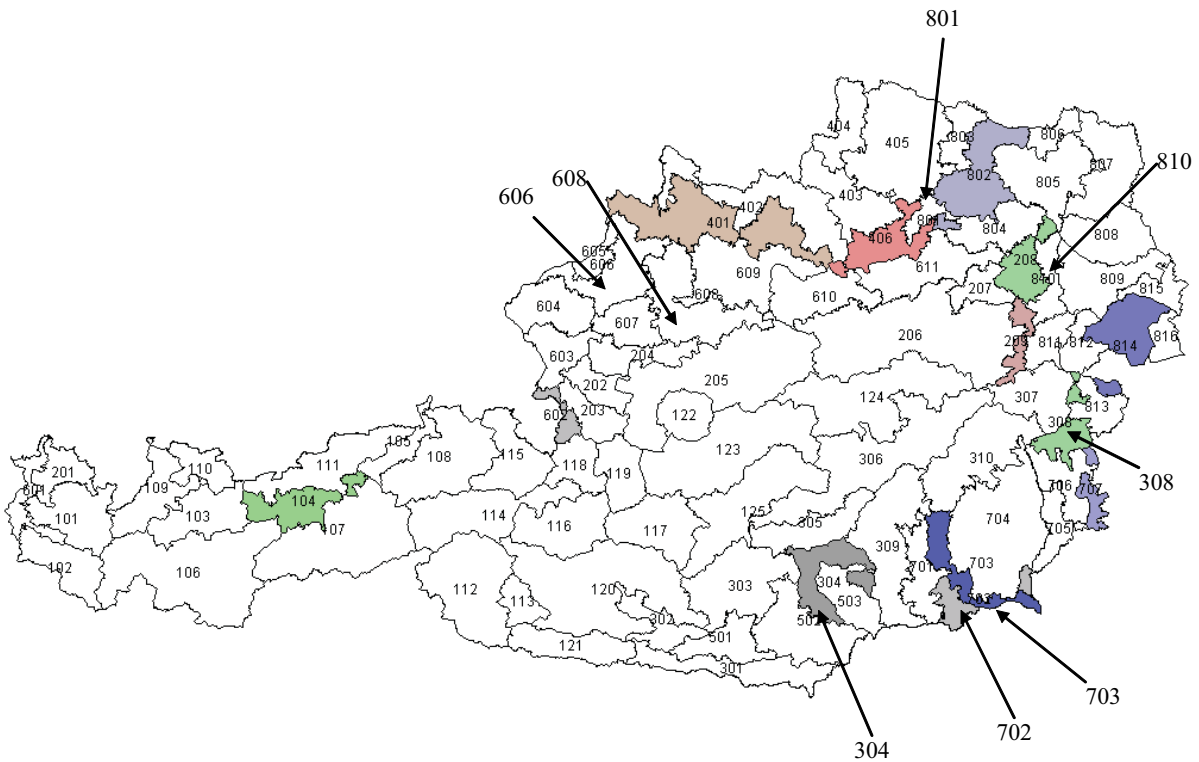


Abbildung 2: Die 87 Kleinproduktionsgebiete Österreichs und ihre Bezeichnungen mit dem KPG-Code

4.4. Potenzial

4.4.1. Verbleibende Ackerfläche abzüglich der Sonderkulturen und der Tierhaltung

Nachdem von der gesamten Ackerfläche eines Kleinproduktionsgebiets die Sonderkulturflächen³ abgezogen wurden, müssen von allen Vieh haltenden Betrieben noch jene Flächen abgezogen werden, die zur Fütterung der Tiere benötigt werden, um das mögliche Potenzial für den Energiepflanzenanbau auf dem Ackerland zu erhalten. Mit Ausnahme des Silomais wurden die Grundfutterflächen⁴ direkt abgezogen. Die abzuziehende Fläche für Silomais, Kraftfutter und Eiweißfutter wird dadurch ermittelt, dass den einzelnen Tierkategorien Standardrationen (Anhang 3) unterstellt werden. Daraus werden die verfütterten Mengen pro Jahr berechnet bzw. aus Literaturquellen ermittelt und über die Durchschnittserträge der in den Rationen enthaltenen Ackerkulturen die für die Fütterung notwendigen Flächen berechnet.

³ Blumen und Zierpflanzen; Blumen und Zierpflanzen (Freiland); Blumen und Zierpflanzen im Folientunnel; Blumen und Zierpflanzen im Glashaus und befestigten Tunnel; Christbäume auf Ackerland; einjährige Baumschulen; Energiewald; Erdbeeren; Erdbeeren/Feldgemüse; Feldgemüse (im Freiland)/ab 2000 ohne Ernte; Feldgemüse Einlegegurken; Feldgemüse Frischmarkt 1 Ernte; Feldgemüse Frischmarkt 2 oder mehr Ernten; Feldgemüse Verarbeitung; Feldgemüse Verarbeitung 2 oder mehrere Ernten; Freilandgemüse Frischmarkt 1 Ernte; Freilandgemüse Frischmarkt 2 oder mehr Ernten; Freilandgemüse Verarbeitung; Frühkartoffeln; Frühkartoffeln, Feldgemüse (im Freiland); Frühkartoffeln, Mais; Gemüse im Folientunnel; Gemüse im Glashaus und befestigte Tunnel; Gewürzpflanzen (Petersilie, Schnittlauch); Heil- und Gewürzpflanzen A; Heil- und Gewürzpflanzen im Folientunnel; Heil- und Gewürzpflanzen S; Hopfen A; Hopfen S; Kümmel; Landschaftselement A keine Beihilfe; Landschaftselement A mit Beihilfe; Mariendistel; Mohn; Ölkürbis; Öllein (nicht zur Fasergewinnung); Öllein (nicht zur Fasergewinnung)/ Feldgemüse im Freiland; SG: Ackerbohne; SG: Bastardraygras; SG: Dinkel; SG: Engl_Raygras-neue Sorten; SG: Erbse; SG: Franz_Raygras; SG: Hanf; SG: Ital_Raygras; SG: Knautgras; SG: Luzerne Sorten; SG: Öllein; SG: Rotklee; SG: Saatwicke; SG: Timotheegras; SG: Wiesenrispengras; SG: Wiesenschwingel; Sonstige Ölf Früchte (Safflor); Sonstige Spezialkulturfläche; Tabak; Zuckermais; Zuckermais/Feldgemüse (im Freiland); Aufforstung auf Ackerland;

⁴ Luzerne; Futtergräser, Wechselwiese (Egart, Ackerweide); Klee; Futterrübe (Runkelrübe, Burgunder, Kohlrübe); Futtergräser/Feldgemüse (im Freiland); Grünmais; Grünschnittroggen; Klee/Feldgemüse (im Freiland); Klee gras; Klee gras/Feldgemüse (im Freiland); Sonstige Futterhackfrüchte, Sonstiges Feldfutter

Die einzelnen im INVEKOS 2003 angegebenen Tierkategorien, deren Futtermengen ähnlich sind, wurden zu größeren Kategorien zusammengefasst, um den Grad der Komplexität der Rechnungen noch auf einem nachvollziehbaren Niveau halten zu können. Die Standardrationen für die Tiere sowie die nötigen Futtermengen wurden entweder bei den Landwirtschaftskammern persönlich erfragt oder aus Literaturquellen entnommen.

Vorweg soll noch angemerkt sein, dass nur die auf dem Ackerland angebauten Kulturen in den Rationen berücksichtigt wurden, d.h. bei Grundfutter wurde lediglich der Silomais berücksichtigt. Keine Berücksichtigung in der Flächenberechnung fand Soja (für Sojaschrot), die fast ausschließlich importiert wird. Trockenschnitzel werden ebenfalls überregional zugekauft.

4.4.1.1. Erträge

Um eine Vereinfachung der Flächenberechnung für das Energiepflanzenpotenzial zu erreichen, wurden einige Kulturarten zu Überbegriffen zusammengefasst. Dies rührt daher, dass die Rationen für die Tiere nicht fix definiert sind. So kann zum Beispiel als Futtergetreide sowohl Weizen, Gerste oder Triticale in der Ration verwendet werden. Dementsprechend wurden diese drei Kulturarten zum Überbegriff „Getreide“ zusammengefasst. Körnermais und Corn-Cob-Mix wurden zum Begriff „Mais“ und Körnererbse sowie Raps zum Begriff „Eiweißfuttermittel“ zusammengefasst. Um die Erträge der zusammengefassten Kulturarten zu bestimmen, wurden der Mittelwert aus den jeweiligen Einzelkulturen in den AMA-Ertragshebungen sowie der Mittelwert über die Erträge von 1998 bis 2003 gebildet.

- Getreide (Weizen, Gerste, Triticale): 47, 1 dt/ha
- Hafer: 39 dt/ha
- Mais (Körnermais, CCM): 93 dt/ha
- Eiweißfutter (Erbse, Raps): 25 dt/ha
- Sonnenblume: 26 dt/ha
- Silomais: 140 dt/ha TS

Quelle: AMA (2003); Wöckinger (2004)

In jenen Kleinproduktionsgebieten, in denen nach Abzug der benötigten Flächen für die Tierhaltung noch überschüssiges Ackerland zur Energiepflanzenerzeugung verbleibt, werden diese Überschussflächen als Anteile an der gesamten Ackerfläche berechnet und die Ergebnisse grafisch dargestellt, sodass eine rasche Beurteilung, ob der Überschuss in den jeweiligen KPGs vergleichsweise groß oder klein ist, vorgenommen werden kann.

4.4.2. Wirtschaftsdüngeranfall

In jenen Kleinproduktionsgebieten, in denen es einen eventuellen Mangel an Flächen für die Energiepflanzenerzeugung zur Biogasproduktion geben könnte, würde als Alternativlösung der Wirtschaftsdünger der dort gehaltenen Tiere ein Substrat zur Fermentation darstellen.

Die Berechnung des Wirtschaftsdüngeranfalls für die einzelnen Tierkategorien erfolgt in Anlehnung an die Anlage 2 des Aktionsprogramms 2003 (BMLFUW, 2003), in der die Wirtschaftsdüngeranfallsmengen für 6 Monate je Stallplatz in m³ angegeben sind (Tabelle 1). Um die Anfallsmengen auf Kleinproduktionsgebietsebene für ein Jahr berechnen zu können, werden diese Werte verdoppelt und mit den Tierbestandsdaten von INVEKOS 2003 multipliziert, wobei die Annahme vollbelegter Stallplätze zum Zeitpunkt der INVEKOS-Datenerhebung unterstellt wird. Anschließend erfolgt eine Umrechnung vom Volumen des Wirtschaftsdüngers in dessen Masse (KTBL, 2000) und schließlich eine Vereinheitlichung auf den Trockensubstanzgehalt der verschiedenen anfallenden Wirtschaftsdünger in Anlehnung an KTBL (2000) bzw. an die 5. Auflage der RICHTLINIEN FÜR SACHGERECHTE DÜNGUNG (Danneberg et al., 1999).

Tabelle 1: Wirtschaftsdüngerlagerkapazität für 6 Monate bei verschiedenen Entmistungssystemen (Aktionsprogramm, 2003)

Wirtschaftsdüngeranfallsmengen für 6 Monate je Stallplatz in m ³				
Tierart	Entmistungssysteme			
	Tiefstall- mist [m ³] ⁵⁾	Mist ²⁾ und Jauche ³⁾		Gülle ⁴⁾ ugd* [m ³]
		Mist [m ³]	Jauche ugd*. [m ³]	
Pferde				
Fohlen bis 1/2 Jahr				--
Fohlen ab 1/2 bis unter 1 Jahr	4,0			-
Pferde ab 1 Jahr	6,7			-
Pferde ab 3 Jahre - Hengste und Wallachen	6,7			-
- Stuten	6,7			-
Ponys, Esel, Maultiere - bis 1/2 Jahr				--
- ab 1/2 Jahr	3,3			-
Rinder				
Schlachtkälber unter 1/2 Jahr	1,7	1,2	0,6	0,7
andere Kälber und Jungrinder unter 1/2 Jahr	1,8	1,2	0,6	1,3
Jungvieh 1/2 bis 1 Jahr	4,6	3,2	1,7	3,3
Jungvieh 1 bis 2 Jahr	6,1	4,3	2,2	5,6
Rinder ab 2 Jahre - Stiere und Ochsen	7,6	5,3	2,8	7,1
- Kalbinnen	8,3	5,9	3,1	7,8
- Milchkühe	9,5	6,7	3,5	11,0
- Mutter- und Ammenkühe	9,5	6,7	3,5	11,0
Schweine				
Ferkel bis 20 kg Lebendgewicht (LG)				
Jungschweine 20 kg bis unter 30 kg LG	0,52	0,32	0,21	0,67
Jungschweine 30 kg bis unter 50 kg LG ¹⁾	0,79			1,00
Mastschweine - 50 kg bis 80 kg LG ¹⁾	0,79			1,00
- 80 kg bis 110 kg ¹⁾	0,79			1,00
- ab 110 kg ¹⁾	0,79			1,00
Zuchtschweine (ab 50 kg LG)				
- Jungsauen nicht gedeckt	1,26	0,61	0,46	1,61
- Jungsauen gedeckt ¹⁾	2,52	1,53	1,01	3,20
- ältere Sauen nicht gedeckt ¹⁾	2,52	1,53	1,01	3,20
- ältere Sauen gedeckt ¹⁾	2,52	1,53	1,01	3,20
- Zuchteber	2,53	1,53	0,93	3,21
Schafe				
Lämmer bis 1/2 Jahr	0,22			-
Schafe - 1/2 bis 1 Jahr (ohne Mutterschafe)				-
- ab 1 Jahr männlich	0,52			-
- ab 1 Jahr weiblich (ohne Mutterschafe)	0,52			-
Mutterschafe	0,52			-
Schafe ab 1 Jahr oder 1x gelammt	0,52			-
Ziegen				

Wirtschaftsdüngeranfallsmengen für 6 Monate je Stallplatz in m ³				
Tierart	Entmistungssysteme			
	Tiefstall- mist [m ³] ⁵⁾	Mist ²⁾ und Jauche ³⁾		Gülle ⁴⁾ uvd* [m ³]
		Mist [m ³]	Jauche uvd*. [m ³]	
Kitze/Ziegen bis 1 Jahr (ohne Mutterziegen)	0,28			-
Ziegen ab 1 Jahr (ohne Mutterziegen)	0,38			-
Mutterziegen	0,38			-
Geflügel	Trockenkot [m³]⁶⁾			Gülle (pumpfä- hig) [m³]
Kücken u. Junghennen für Legezw. bis 1/2 Jahr	0,012			0,015
Legehennen - 1/2 bis 1 1/2 Jahre	0,030			0,033
Legehennen - ab 1 1/2 Jahre	0,030			0,033
Hähne	0,030			0,033
Mastkücken und Jungmasthühner	0,006			-
Zwerghühner, Wachteln; ausgewachsen	0,006			-
Gänse	0,029			-
Enten	0,014			-
Truthühner (Puten)	0,030			-

*“uvd“ unverdünnt, dass heißt, dass die Jauche bzw. die Gülle nicht oder nur geringfügig durch in die Grube eingeleitete Spül- und Reinigungswässer verdünnt ist.

- 1) Schweine werden für die Führung diverser Statistiken in verschiedene Gewichtsklassen eingeteilt. Da sich die Werte dieser Tabelle auf den Stallplatz beziehen und daher einen Durchschnittswert je Umtrieb und Stallplatz darstellen, sind die angeführten Werte für alle Gewichtsklassen gleich.
- 2) Stallmist: Stallmist ist ein Gemisch aus Kot, Einstreu und geringen Mengen an Harn aus der Anbinde- und Boxenhaltung.
- 3) Jauche: Jauche ist der mit Kot und Einstreuteilchen (mitunter auch mit Spülwasser) versetzte Harn der Tiere.
- 4) Gülle: Gülle ist ein Gemisch aus Kot, Harn, Wasser, Einstreu- und Futterresten.
- 5) Tiefstallmist: Tiefstallmist ist das in Freilaufhaltung anfallende Gemisch aus tierischen Ausscheidungen und hohen Einstreumengen. Das Gemisch wird von den Tieren selbst festgetreten und feucht gehalten, wodurch über die Verdunstung ein erheblicher Teil des Wassergehaltes verloren geht.
- 6) Trockenkot: Trockenkot ist der in der Geflügelhaltung anfallende Kot mit hohem Trockensubstanzgehalt.

Alpung und Weidegang

Um bei den Rindern, Schafen, Ziegen und Einhufern den Wirtschaftsdüngeranfall im Stall berechnen zu können, müssen sowohl die Weidehaltung als auch die auf den Almen verbrachte Zeit der Tiere berücksichtigt werden.

Ausgegangen wird von der Annahme, dass in Vorarlberg, Tirol, Salzburg und Kärnten in allen Kleinproduktionsgebieten Alpung betrieben wird. Somit wird in folgenden Kleinproduktionsgebieten mit einer Alpung der Tiere gerechnet: 101, 102, 201, 601 (V); 103, 104, 105, 106, 107, 108, 109, 110, 111, 112, 113 (T); 114, 115, 116, 117, 118, 119, 202, 203, 602, 603 (S); 120, 121, 301, 302, 303, 304, 501, 502, 503 (K). In Oberösterreich, Niederösterreich und in der Steiermark werden das Gebiet der Voralpen sowie jenes der Hochalpen und des Alpenostrands für den Almauftrieb herangezogen. In den drei letztgenannten Bundesländern sind somit die Kleinproduktionsgebiete 204, 205 (OÖ); 206, 207, 208, 209 (NÖ) und 122, 123, 124, 125, 305, 306, 307, 309, 310 (Stmk) noch als Gebiete mit Alpung zu berücksichtigen.

Die jeweiligen Annahmen, die der Berechnung des Wirtschaftsdüngeranfalls bei den Rindern, Schafen, Ziegen und Einhufern zugrunde liegen, werden im Kapitel 4.5.2 „Wirtschaftsdüngeranfall“ detailliert dargestellt.

Ebenso erfolgt für jene Tierkategorien, die ganzjährig im Stall gehalten werden (Schweine, Geflügel, Kälber und Stiere) eine detaillierte Angabe der Berechnungsgrundlagen.

4.4.3. Grünlandpotenzial

Die Darstellung des Grünlands als mögliches Potenzial zur Biogaserzeugung stützt sich auf einen Bericht von Dr. Karl Buchgraber, BAL Gumpenstein, zum Thema „Ressource Grünland im Alpenraum – brauchen wir alternative Nutzungsverfahren?“ (BUCHGRABER, 2003).

Die landwirtschaftliche Nutzfläche Österreichs wird zu 60 % vom Grünland dominiert, das insbesondere in den Berggebieten stark verbreitet ist. Nach Abzug von 850.000 ha Almflächen, auf denen keine alternative Nutzung der Biomasse erwartet wird, bleiben ca. 1,2 Millionen ha Dauergrünland- und Feldfutterflächen, die den Raufutter verzehrenden Tieren (Rinder, Schafe, Ziegen und Pferde) zur Verfügung stehen.

Im letzten Jahrzehnt ist die Milchleistung der Kühe um durchschnittlich 784 kg/Kuh und Jahr gesteigert worden (BUCHGRABER, 2003), wobei diese Dynamik bei den Hochleistungsbetrieben eine andere ist als im Berggebiet. Dennoch ist es so, dass bei anhaltender Leistungssteigerung die österreichische Referenzmilchmenge künftig nicht mehr von derzeit 600.000 Kühen, sondern von ca. 490.000 Milchkühen erbracht werden wird (vgl. STEINWIDDER, 2003 in: BUCHGRABER, 2003). Eine Zuteilung von zusätzlich 50.000 Mutterkühen kann diesen erwarteten Rückgang nicht kompensieren.

Mit steigender Milchleistung nimmt auch der Kraffuttereinsatz in der Futterration zu. Zunehmender Kraffuttereinsatz bedeutet wiederum auch eine gewisse Grundfuttermittelverdrängung aus der Milchkuhration. Aufgrund der Veränderungen in den Tierbeständen sowie in den Futterrationen wegen steigender Milchleistung wird das Grundfutter weniger gebraucht.

Eine Intensivierung der Milchproduktion findet vor allem in Tal-, Becken- und Gunstlagen statt, während in den benachteiligten Gebieten eine Extensivierung zu verzeichnen ist. Diese kann zu einer Gefährdung der offenen Kulturlandschaft führen, wobei in den nächsten zehn Jahren etwa 250.000 ha Grünland freigesetzt werden könnten.

Die Veranschaulichung der Situation im Jahr 2000 sowie eine Prognose für das Jahr 2010 sollen im Kapitel 4.5.3 „Grünlandpotenzial“ einen Überblick über Gebiete verschaffen, in denen eine alternative Nutzung der Biomasse des Grünlands in Frage kommt.

4.4.4. Ertragspotenzial für verschiedene Flächenszenarien

Um den Nutzern des Bewertungstools für die Akzeptanz und Verfügbarkeit von Energiepflanzen einen Überblick über die anfallenden Trockensubstanzerträge von Energiepflanzen geben zu können, werden anhand von unterschiedlichen Fruchtfolgen, deren Glieder aufgrund der Eignung und Trockensubstanzerträge auszuwählen sind, die anfallenden Trockensubstanzerträge für 5 verschiedene Szenarien für die Kleinproduktionsgebiete Österreichs berechnet.

Diese Berechnung des Ertragspotenzials mit definierten Fruchtfolgen (siehe Kapitel 4.5.4 „Energiepflanzen-Ertragspotenzial aus 5 verschiedenen Szenarien“) erfolgt für die Szenarien

- gesamte Stilllegungsfläche
- 30 % der Stilllegungsfläche
- 5 % der Ackerfläche
- 10 % der Ackerfläche
- 20 % der Ackerfläche

Dieser Hinweis soll dem Landwirt, Anlagenplaner, Regionalmanager oder sonstigen von der Errichtung einer Biogasanlage in einem bestimmten Gebiet betroffenen Personen als Orientierungshilfe dienen. Bei der Nutzung des Tools soll jedoch der Landwirt individuell auch Fruchtfolgen kreieren bzw. Erträge bestimmen können, wobei dann die benötigte Fläche bzw. in weiterer Folge auch der Gasertrag berechnet wird.

Bei der Ertragspotenzialberechnung für die 5 genannten Szenarien wurde der zu erwartende Ertrag der Energiepflanzen gebietsweise (nach Hauptproduktionsgebieten) differenziert. Die Unterteilung erfolgte in „gute“, „mittlere“ und „schlechte“ Ertragslagen, wobei ausgehend von den Erträgen der mittleren Ertragslagen jene für die guten bzw. schlechten Lagen durch Zu- bzw. Abschlag von grob gerundet etwa 15 % ermittelt wurden.

Die Einteilung erfolgte subjektiv unter Heranziehung des digitalen Österreichischen Klimaatlasses der ZAMG (2003).

4.4.4.1. Gute Ertragslagen

- Alpenvorland (KPG 601–611)
- Kärntner Becken (KPG 501–503)

Aufgrund ausreichender Niederschlagsverhältnisse von ca. 900 mm/Jahr und einer zufrieden stellenden Jahresmitteltemperatur von 8–10° C (ZAMG, 2003) können in diesen Lagen vergleichsweise gute Erträge erzielt werden.

4.4.4.2. Mittler Ertragslagen

- Voralpen (KPG 201–209)
- Hochalpen (KPG 101–125)
- Südöstliches Flach- und Hügelland (KPG 701–707)
- Nordöstliches Flach- und Hügelland (KPG 801–816)

Die Vor- und Hochalpen werden deswegen zu dieser Kategorie gezählt, da in diesen Gebieten meist genügend Niederschlag vorhanden ist, sich jedoch die Vegetationszeit aufgrund der schon etwas höher gelegenen Produktionsgebiete und eines geringeren Jahresmittels der Temperatur verkürzt. In den Hochalpen wird ohnehin kaum Ackerbau betrieben. Die wenigen vorhandenen Ackerflächen werden jedoch fast ausschließlich in den Tallagen zu finden sein, sodass eine Zuteilung zu den Gebieten der mittleren Ertragslagen noch gerechtfertigt erscheint.

Im Nordöstlichen und Südöstlichen Flach- und Hügelland sind die Erträge im Vergleich zu jenen oben genannter Gebiete aufgrund des fehlenden Niederschlages niedriger anzusetzen.

4.4.4.3. Schlechte Ertragslagen

- Mühl- und Waldviertel (KPG 401–406)
- Alpenostrand (KPG 301–310)

In diesen beiden Hauptproduktionsgebieten fehlt es im Vergleich zu den übrigen Gebieten in Österreich sowohl an Temperatur als auch an Niederschlag. Das durchschnittliche Jahresmittel der Temperatur pendelt etwa zwischen 4 und 8° C, der jährliche Niederschlag bewegt sich zwischen 600 und maximal 900 mm/Jahr.

4.4.5. Spezifische Potenziale für die einzelnen Kleinproduktionsgebiete

Die Ergebnisse der im vorhergehenden Kapitel beschriebenen Trockensubstanzertrags-berechnungen mit definierten Fruchtfolgen für die 5 genannten Flächenszenarien werden in einem letzten Schritt zusammen mit möglicherweise auf dem Grünland anfallenden Überschüssen, welche für die tierische Produktion nicht benötigt werden, auf die Gesamtfläche des jeweiligen Kleinproduktionsgebietes bezogen, um rasch einen Überblick über das spezifische Potenzial, d.h. die verfügbare Energiepflanzen-Trockensubstanz pro ha in den einzelnen Kleinproduktionsgebieten zu bekommen. Die Darstellung der Ergebnisse erfolgt zur besseren Veranschaulichung grafisch mit RegioGraph.

4.5. Ergebnisse der Potenzialberechnungen

Detaillauswertungen und Landkarten sind in Anhang 4 zu finden.

4.5.1. Verbleibende Ackerfläche nach Abzug der Sonderkulturen und der Tierhaltung

Im Folgenden wird der Frage nachgegangen, wie viel der Ackerfläche in einem Kleinproduktionsgebiet für die Biogasproduktion zur Verfügung stehen würde, wenn der aktuelle Anbau von Sonderkulturen⁵ und die aktuelle Tierhaltung beibehalten werden. Durchführung der Berechnung des Flächenpotenzials:

Wie in Anhang 3 beschrieben, wurden für die Berechnung des Flächenpotenzials nur jene in den Rationen enthaltenen Bestandteile herangezogen, die auf dem Acker angebaut wurden. Die betroffenen Kulturen sind mit ihren Durchschnittserträgen ebenfalls schon am Beginn des Kapitels angeführt worden. Anhand eines konkreten Beispiels soll demonstriert werden, wie die für den Energiepflanzenanbau verfügbare Fläche berechnet wird.

Am Beispiel des Rieder Gebietes (606) soll die Berechnung demonstriert werden

Kühe:

Anzahl der Kühe: 39.649

Jährlicher Grundfutterbedarf: 4745 kg TS je Kuh (32 % Maissilage (28 % TS))

Jährlicher Kraffutterbedarf: 1460 kg je Kuh (43 % Getreide, 30 % Körnermais, 5 % Eiweißfutter)

1. Rechenschritt

Grundfutter: $(39.649 \cdot 4745) / 100 = 1.881.345$ dt GF

Kraffutter: $(39.649 \cdot 1460) / 100 = 578.875$ dt KF

⁵ Aufforstung auf Ackerland; Blumen und Zierpflanzen; Blumen und Zierpflanzen (Freiland); Blumen und Zierpflanzen im Folientunnel; Blumen und Zierpflanzen im Glashaus und befestigte Tunnel; Christbäume auf Ackerland; Einjährige Baumschulen; Energiewald; Erdbeeren; Erdbeeren/Feldgemüse; Feldgemüse (im Freiland)/ab 2000 ohne Ernte; Feldgemüse Einlegegurken; Feldgemüse Frischmarkt 1 Ernte; Feldgemüse Frischmarkt 2 oder mehr Ernten; Feldgemüse Verarbeitung; Feldgemüse Verarbeitung 2 oder mehrere Ernten; Freilandgemüse Frischmarkt 1 Ernte; Freilandgemüse Frischmarkt 2 oder mehr Ernten; Freilandgemüse Verarbeitung; Frühkartoffeln; Frühkartoffeln, Feldgemüse (im Freiland); Frühkartoffeln, Mais; Futtergräser; Futtergräser/Feldgemüse (im Freiland); Futterrübe (Runkelrübe, Burgunder, Kohlrübe); Gemüse im Folientunnel; Gemüse im Glashaus und befestigte Tunnel; Gewürzpflanzen (Petersilie, Schnittlauch); Grünmais; Grünschnittroggen; Heil- und Gewürzpflanzen A; Heil- und Gewürzpflanzen im Folientunnel; Heil- und Gewürzpflanzen S; Hopfen A; Hopfen S; Klee; Klee/Feldgemüse (im Freiland); Klee gras; Klee gras/Feldgemüse (im Freiland); Kümmel; Landschaftselement A keine Beihilfe; Landschaftselement A mit Beihilfe; Luzerne; Mariendistel; Mohn ; Ölkürbis; Öllein (nicht zur Fasergewinnung); Öllein (nicht zur Fasergewinnung)/ Feldgemüse im Freiland; SG: Ackerbohne; SG: Bastardraygras; SG: Dinkel; SG: Engl_Raygras-neue Sorten; SG: Erbse; SG: Franz_Raygras; SG: Hanf; SG: Ital_Raygras; SG: Knaulgras; SG: Luzerne Sorten; SG: Öllein; SG: Rotklee; SG: Saatwicke; SG: Timothe gras; SG: Wiesenrispengras; SG: Wiesenschwingel; Sonstige Futterhackfrüchte; Sonstige Ölfrüchte (Saflor); Sonstige Spezialkulturfäche; Sonstiges Feldfutter; Tabak; Wechselwiese (Egart, Ackerweide); Zuckermais; Zuckermais/Feldgemüse (im Freiland);

2. Rechenschritt

Grundfutter: $(1.881.345 \cdot 0,32) / 140 = 4300 \text{ ha}$

Krafffutter: $(578.875 \cdot 0,43) / 47,1 + (578.875 \cdot 0,3) / 93 + (578.875 \cdot 0,05) / 25 = 8310 \text{ ha}$

Diese Berechnungen werden nun analog für alle Tierkategorien durchgeführt und schließlich aufsummiert. Für das Rieder Gebiet ergibt sich daraus beispielsweise ein Flächenbedarf für die Fütterung von 38.161 ha.

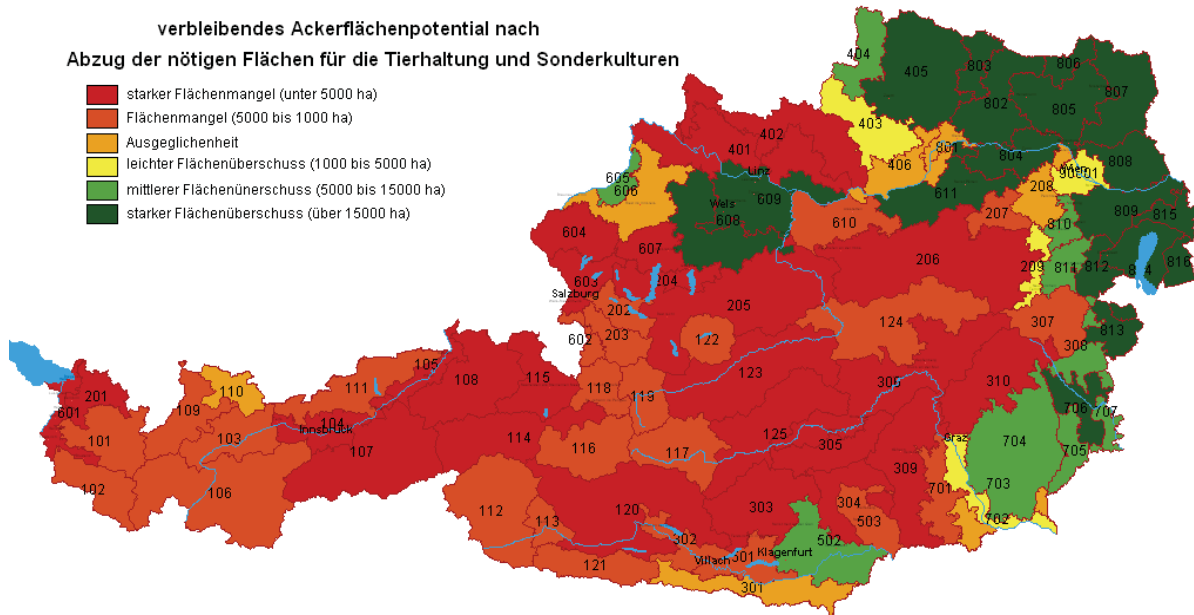
Die Gesamtackerfläche ohne Sonderkulturen und Feldfutter im Rieder Gebiet beträgt 37.904 ha, sodass daraus rechnerisch ein Flächenpotenzial für den Energiepflanzenanbau von -257 ha resultiert, d.h. in diesem Fall besteht bereits ein Mangel an Ackerfläche.

Um einen raschen Überblick zu bekommen, wurde das Ackerflächenpotenzial nach Abzug des Flächenverbrauchs für die Tierhaltung auch grafisch im RegioGraph-Programm dargestellt. Dabei wurde eine Einteilung in 6 Kategorien vorgenommen, die den Flächenmangel, die ausgeglichene Flächenbilanz und den Flächenüberschuss veranschaulichen sollen.

Rote Gebiete bedeuten einen höheren Flächenverbrauch durch die Tiere, als an Ackerfläche zur Verfügung steht. Nicht zu übersehen ist, dass die dunkel- bzw. hellrot gefärbten Flächen in den Berggebieten der Alpen und im Mühlviertel zu finden sind. In diesen Gegenden nimmt die Ackerfläche – bezogen auf die landwirtschaftliche Nutzfläche und die dort gehaltenen Tiere – einfach einen zu kleinen Prozentsatz ein. Hier werden nicht die intensiven Futterrationen wie in den Ackerbaugebieten verwendet, bzw. muss in diesen Gegenden das Krafffutter zugekauft werden. Der Schwerpunkt der Fütterung wird in solchen Gebieten eher auf Grundfutterbasis liegen. In den hellorange gefärbten Gebieten würden die vorhandenen Ackerflächen mit den unterstellten Futterrationen von den dort gehaltenen Tieren in Anspruch genommen werden, was aber nur auf das südliche Kärnten und das Außerfern Gebiet zutrifft. In den Ackerbaugebieten des nördlichen und östlichen Österreichs würden auch nach Abzug der für die Tierhaltung benötigten Ackerflächen noch weitere Flächen für eine mögliche Nutzung durch Energiepflanzen zur Verfügung stehen.

Zusammenfassend ist festzuhalten, dass in Gebieten mit Ackerflächenmangel oder ausgeglichener Ackerflächenbilanz Biogasanlagen, deren Rohstoffversorgung auf Ackerkulturen aufgebaut wird, die Tierhaltung verdrängen bzw. den Anteil der von außerhalb des Kleinproduktionsgebietes zugekauften Futtermittel erhöhen. Um ein vollständiges Bild bezüglich der Flächenbilanz eines Kleinproduktionsgebietes zu erhalten, müssen auch die Grünlandflächen betrachtet werden (siehe Kapitel 4.5.3 „Grünlandpotenzial“)

Keinesfalls darf jedoch außer acht gelassen werden, dass hier nur das mögliche Flächenpotenzial nach Abzug der Tierhaltung berechnet wurde. Flächen zur Sicherstellung der menschlichen Ernährung wurden hierbei nicht berücksichtigt.



Datengrundlage: INVEKOS 2003

Abbildung 3: Darstellung des möglichen Ackerflächenpotenzials für einen Energiepflanzenanbau in Österreich nach Abzug der für die Tierhaltung benötigten Flächen (ohne Berücksichtigung des Flächenbedarfs für die menschliche Ernährung)

Um eine Vorstellung davon zu bekommen, in welchen Gebieten es konkret wie viel Überschuss an Ackerflächen gibt, wurden in den Kleinproduktionsgebieten mit überschüssiger Ackerfläche die Überschussflächen auf die gesamte Ackerfläche bezogen und grafisch dargestellt (Abbildung 3).

Dazu wurden zunächst alle negativen Werte Null gesetzt und nur die positiven Werte, d.h. Kleinproduktionsgebiete mit Flächenüberschuss in ihrer Art belassen. Diese Werte wurden durch die gesamte Ackerfläche in dem jeweiligen Gebiet dividiert und das Ergebnis als relativer Flächenüberschuss ausgewiesen (Abbildung 4).

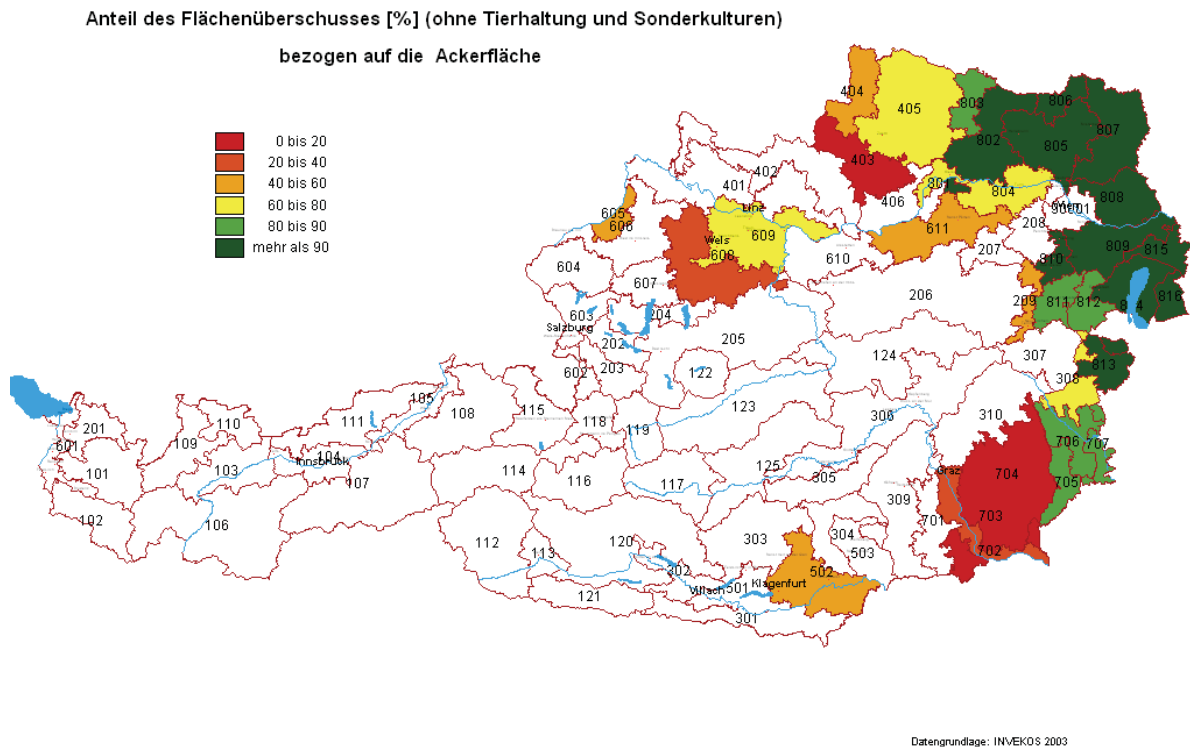


Abbildung 4: Anteil des Flächenüberschusses [%] bezogen auf die gesamte Ackerfläche in den jeweiligen Kleinproduktionsgebieten

4.5.2. Wirtschaftsdüngeranfall

In jenen Kleinproduktionsgebieten, in denen ein Mangel an Flächen für die Energiepflanzenerzeugung zur Biogasproduktion herrscht, kann der Wirtschaftsdüngeranfall der dort gehaltenen Tiere ein alternatives Substrat zur Fermentation darstellen.

Für die Berechnung des Wirtschaftsdüngeranfalls/Jahr in einem Kleinproduktionsgebiet seien folgende Annahmen getroffen:

- Männliche und weibliche Rinder unter ½ Jahr: Annahme ganzjähriger Stallhaltung in allen Kleinproduktionsgebieten, 60 % Mist und Jauche, 40 % Gülle
- Weibliches Jungvieh ½ bis 1 Jahr:
Gebiete ohne Alpengang: 20 % Weidehaltung, 185 Tage zu je 24 Stunden (= 0,507 Jahre); 80 % ganzjährige Stallhaltung; 50 % Mist und Jauche, 50 % Gülle
Gebiete mit Alpengang: 25 % Alpengang bzw. Weidehaltung, 150 Tage⁶ zu je 24 Stunden; 75 % ganzjährige Stallhaltung; 50 % Mist und Jauche, 50 % Gülle
- Weibliches Jungvieh 1 bis 2 Jahre:
Gebiete ohne Alpengang: 60 % Weidehaltung, 185 Tage zu je 24 Stunden; 40 % ganzjährige Stallhaltung; 50 % Mist und Jauche, 50 % Gülle
Gebiete mit Alpengang: 90 % Alpengang bzw. Weidehaltung, 150 Tage⁷ zu je 24 Stunden; 10 % ganzjährige Stallhaltung; 50 % Mist und Jauche, 50 % Gülle
- Milchkühe und Kalbinnen:
Gebiete ohne Alpengang: 40 % Weidehaltung, 170 Tage zu je 4 Stunden auf der Weide; 60 %

⁶ Zeitdauer umfasst bei Alpengang auch Weidehaltung vor und nach der Alpengang

⁷ Zeitdauer umfasst bei Alpengang auch Weidehaltung vor und nach der Alpengang

ganzjährige Stallhaltung; 50 % Mist und Jauche, 50 % Gülle

Gebiete mit Alpung: 20 % Alpung, 105 Tage⁸ Alpung, 45 Tage Weidegang vor und nach der Alpung zu je 4 Stunden; 30 % Weidehaltung, 150 Tage zu je 4 Stunden auf der Weide; 50 % ganzjährige Stallhaltung; 50 % Mist und Jauche, 50 % Gülle

- **Mutterkühe:**
Gebiete ohne Alpung: 70 % Weidehaltung, 185 Tage zu je 24 Stunden; 10 % Weidehaltung, 185 Tage zu je 12 Stunden; 20 % ganzjährige Stallhaltung; 50 % Mist und Jauche, 50 % Gülle
Gebiete mit Alpung: 90 % Alpung oder Weidehaltung, 150 Tage zu je 24 Stunden; 10 % ganzjährige Stallhaltung, 50 % Mist und Jauche, 50 % Gülle
- **Stiere und Ochsen (männliche Rinder ½ bis 1 Jahr):** 20 % Weidehaltung, 150 Tage zu je 24 Stunden; 80 % ganzjährige Stallhaltung in allen Kleinproduktionsgebieten, 50 % Mist und Jauche, 50 % Gülle
- **Stiere und Ochsen (männliche Rinder 1 bis 2 Jahre sowie 2 Jahre und älter):** 100 % ganzjährige Stallhaltung in allen Kleinproduktionsgebieten, 50 % Mist und Jauche, 50 % Gülle
- **Einhufer:**
Gebiete mit Alpung: 50 % ganztägige Alpung bzw. Weide (24 h), 50 % Weide à 4 h; 150 Tage Weidedauer; 100 % Tiefstallmist
Gebiete ohne Alpung: 100 % Weidehaltung, 185 Tage à 4 h; 100 % Tiefstallmist
- **Schafe, Ziegen:**
Gebiete mit Alpung: 90 % der Tiere ganztägige (24 h) Alpung oder Weide, 150 Tage ganztägig (24 h); 10 % ganzjährige Stallhaltung; 100 % Tiefstallmist
Gebiete ohne Alpung: 80 % Weidehaltung, 185 Tage ganztägig (24 h); 20 % ganzjährige Stallhaltung; 100 % Tiefstallmist
- **Zuchtschweine:** ganzjährige Stallhaltung, 50 % Mist und Jauche, 50 % Gülle
- **Mastschweine:** ganzjährige Stallhaltung, 100 % Gülle
- **Geflügel:** ganzjährige Stallhaltung, 100 % Gülle

In Tabelle 2 ist der jährliche Wirtschaftsdüngeranfall dargestellt.

Das Volumen an Wirtschaftsdünger wurde in einem Rechengang auf die Masse in Tonnen Trockensubstanz umgerechnet, wobei für Festmist und dessen Trockensubstanzgehalt folgende Tabelle aus einer Internet-Veröffentlichung des KTBL (2000) herangezogen wurde. Die Dichte des Mists von Zuchtsauen wurde jedoch in den Berechnungen mit jener von Rindermist (0,83 t/m³) gleichgesetzt.

⁸ Anfallender Wirtschaftsdünger wird auf der Alm ausgebracht, steht nicht für Biogasanlagen zur Verfügung

Tabelle 2: Jährlicher Festmist- und Kotanfall (365 Stalltage), Dichte und Zusammensetzung (Zusammenstellung: LUFA Oldenburg)

Zahl	Art	Mist [t]	TS [%]	Dichte [t/m ³]	N [kg/t]	P ₂ O ₅ [kg/t]	K ₂ O [kg/t]
1	Rind > 2 Jahre	10	22	0,83	5	3,5	7
1	Jungrind 1–2 Jahre	6	22	0,83	5	3,5	7
1	Jungrind 0,5–1 Jahr	1,8	22	0,83	5	3	7
1	Kalb 0–6 Monate	1,2	22	0,83	5	3	7
1	Zuchtsau mit Ferkel	2	22	0,91	7	7,5	6
10	Mastschweineplätze	8	22	0,91	7	7,5	6
100	Legehennenplätze						
	Frischkot	6	22	0,77	13	8	7
	Trockenkot	2,3	60	0,50	28	26	18
	Getrockneter Kot	1,8	80	0,40	35	28	22
100	Junghennenplätze	0,8	55	0,50	28	24	23
100	Hähnchenplätze	0,7	55	0,50	28	24	23
100	Putenplätze	4	55	0,40	23	20	20
1	Pferd	10	25	0,63	6	2,7	6
1	Schaf	1,1	27	0,63	8	5,1	13

Für die Substrate „Gülle“ und „Jauche“ wurde jeweils eine Dichte von 1 t/m³ unterstellt. Die Wahl der Trockensubstanzgehalte erfolgte in Anlehnung an Tabelle 31a der RICHTLINIEN FÜR DIE SACHGE-RECHTE DÜNGUNG, 5. Auflage (Danneberg et al., 1999).

Demnach wurde für die Jauche von Rindern ein Trockensubstanzgehalt von 3 %, für jene von Zucht-schweinen ein Trockensubstanzgehalt von 2 % als Berechnungsgrundlage herangezogen. Für die Gülle wurde bei den Kälbern ein Trockensubstanzgehalt von 5 %, bei den übrigen Rindern von 10 % unterstellt, ebenso für die Gülle von Zuchtsauen. Die Gülle von Mastschweinen wurde mit 5 % Tro-ckensubstanzgehalt (Futtergrundlage MKS-CCM) angenommen. Die Trockensubstanzgehalt von Geflügel-Gülle wurde mit 10 % angenommen, was dem Trockensubstanzgehalt von Frischkot ent-spricht. Trockenkot wurde ebenso als Gülleanfall berechnet, die entsprechenden Trockensubstanzge-halte (60 % bei Masthühnern und 50 % beim restlichen Geflügel) wurden als Berechnungsgrundlage herangezogen.

Es wurden die Berechnungen für alle Tierkategorien mit den jeweiligen Substraten und den oben angegebenen Dichten und Trockensubstanzgehalten durchgeführt. Anschließend wurde für den jeweiligen Wirtschaftsdünger (Mist, Jauche, Gülle) die Summe über alle davon betroffenen Tierkate-gorien gebildet, um den Gesamtanfall dieser Substrate für jedes Kleinproduktionsgebiet angeben zu können. In einem eigenen Tabellenblatt wurde als letzter Schritt eine Aufsummierung der angefallenen Trockensubstanz jener drei Wirtschaftsdünger vorgenommen, um den gesamten Wirtschaftsdün-geranfall in Tonnen Trockensubstanz für die österreichischen Kleinproduktionsgebiete darstellen zu können.

Die Ergebnisse der einzelnen Kleinproduktionsgebiete sind im Anhang 5 zusammengefasst.

4.5.3. Grünlandpotenzial

4.5.3.1. Derzeitiger Stand des Biomasseaufkommens auf dem Grünland

Laut BUCHGRABER (2003) wuchsen im Jahr 2000 auf den gesamten Grünlandflächen Österreichs rund 6,9 Millionen Tonnen Trockensubstanz netto auf. Stellt man die Tierzahlen und deren Bedarf dem gegenüber, entsteht eine Bilanzierung der Grünlandbiomasse in den Produktionsgebieten. Die Auswertung der Daten erfolgte von Buchgraber auf Gemeindeebene, wobei jedoch die Gegenden des Nordöstlichen Flach- und Hügellandes sowie des Südöstlichen Flach- und Hügellandes aufgrund der geringen Bedeutung der Raufutter verzehrenden Tieren in diesen Gebieten nicht mit bearbeitet wurden. Um der Struktur der gesamten RegioGraph-Auswertungen treu zu bleiben, wurden zu diesem Zweck die Gemeindedaten auch hier auf Kleinproduktionsgebietsebene zusammengefasst (Abbildung 5).

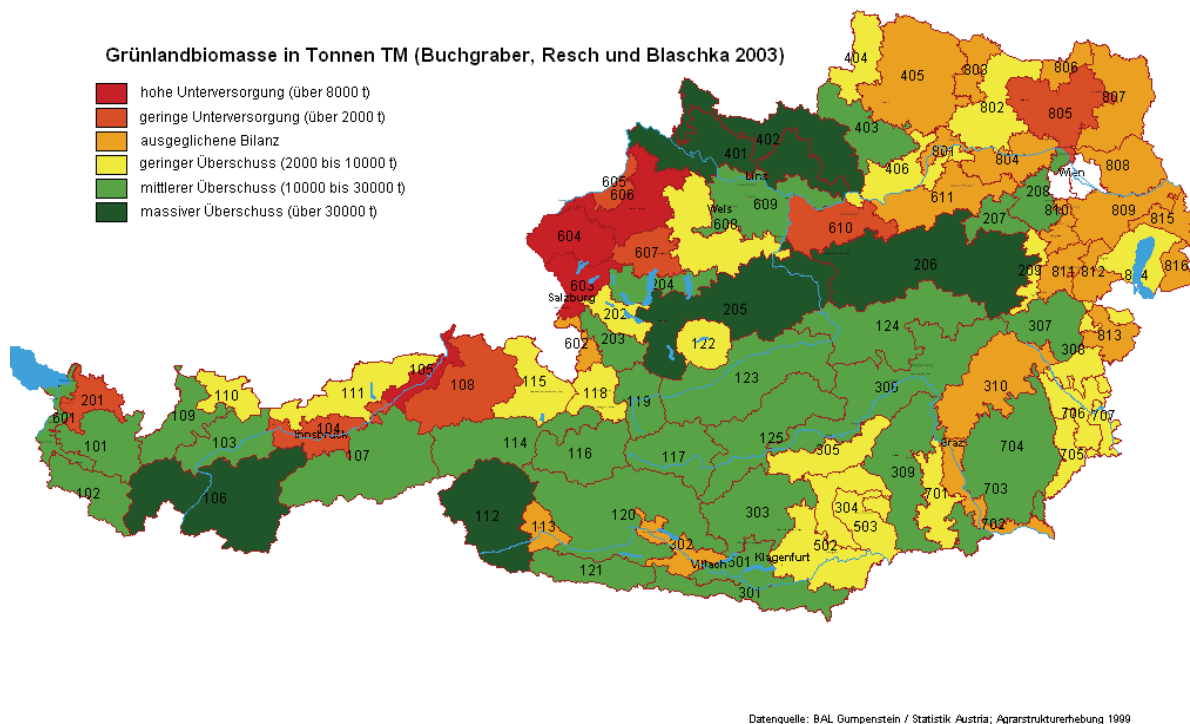


Abbildung 5: Bilanz zwischen Futterbedarf und Futterproduktion des Grünlandes in Österreich (Buchgraber 2003)

In den Gebieten des Innviertels, des Flachgaus und des Inntals zeigt die Bilanz eine starke Unterversorgung mit Grundfutter. Diese Gebiete zeichnen sich durch einen hohen Viehbesatz mit hohen Milchleistungen aus. Diese Unterversorgung mit Grundfutter wird durch Kraffuttergaben kompensiert. Annähernd ausgeglichene Verhältnisse herrschen in den nord- und südöstlichen Ackerbaugebieten Österreichs (KPG 701–816), in denen aber Grünland eine untergeordnete Bedeutung hat.

Schon im Jahr 2000 können in einigen Kleinproduktionsgebieten massive Überschüsse an Grünlandbiomasse verzeichnet werden. Dies bedeutet, dass der aktuelle Tierbesatz hier nicht ausreicht, um die Biomasse über das Tier zu verwerten. Eine Aufgabe der Grünlandnutzung und die Umwandlung zu Wald sind die Folge, wodurch die offene Kulturlandschaft in diesen Berggebieten in Gefahr gebracht wird (BUCHGRABER, 2003). Um die Landschaft offen zu halten, muss eine alternative Nutzung des Grünlandes gefunden werden.

4.5.3.2. Zukünftige Entwicklung des Biomasseaufkommens auf dem Grünland

BUCHGRABER (2001), KIRNER (2002) und STEINWIDDER (2003) prognostizieren eine Abnahme der Tierzahlen in den nächsten Jahren. In dieser Prognose wurde eine 20 %-ige Abnahme der Rinder in den Bergregionen und eine gleich bleibende Besatzstärke in den Gunstlagen zugrunde gelegt. Die Flächen mit Unterversorgung sowie die Gebiete mit einer ausgeglichenen Bilanz werden bis zum Jahr 2010 abnehmen, während die Zahl der Gebiete mit leichtem bis massivem Überschuss stark zunehmen wird. Der Anteil der Grünlandflächen in den Überschussgebieten wird stark zunehmen. Dies sind vor allem jene Gebiete, wo die bisher extensiv genutzten Flächen nicht mehr über die tierische Verwertung veredelt werden können (siehe Abbildung 6).

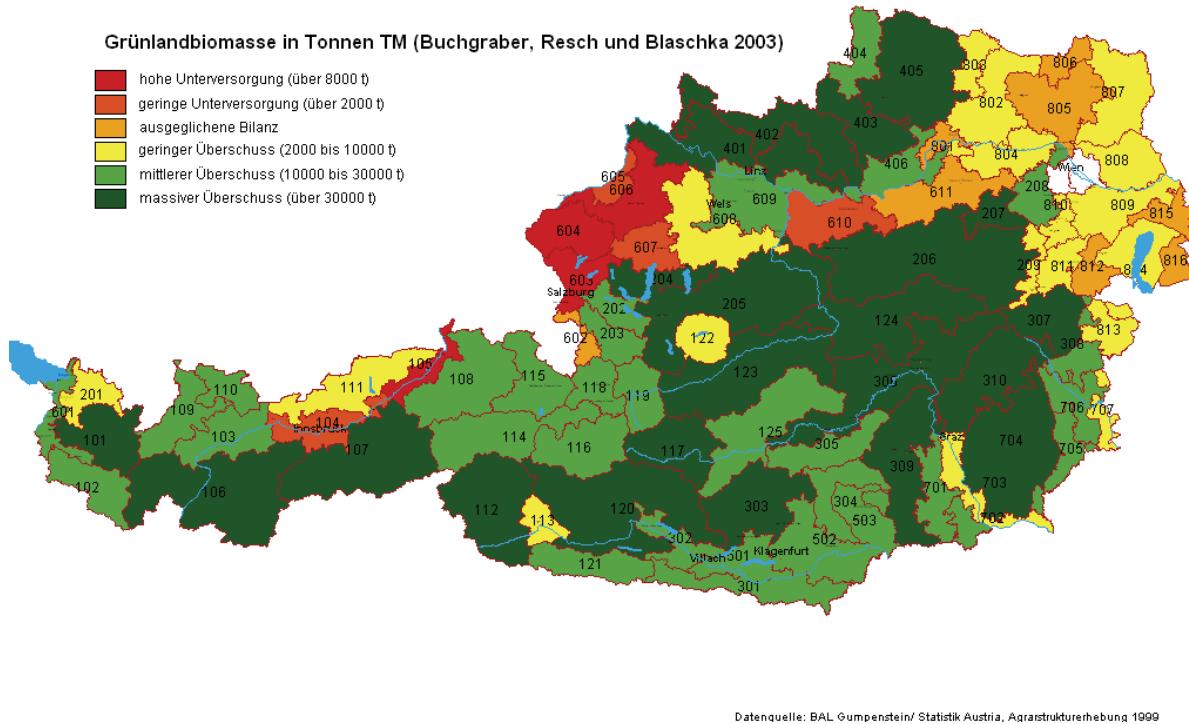


Abbildung 6: Prognostizierte Bilanz zwischen Futterbedarf und Futterproduktion des Grünlandes in Österreich im Jahr 2010 (Buchgraber 2003)

In den benachteiligten Gebieten Österreichs (Hochalpen, Voralpen, Wald- und Mühlviertel) kann bereits im Jahr 2000 eine Unternutzung des Grünlands aufgezeigt werden. Durch einen zu geringen Tierbesatz droht in diesen Gebieten die Schließung der offenen Kulturlandschaft, wenn die heranwachsende Biomasse nicht anders verwertet wird. Die Hauptgründe für die Nichtnutzung des Grünlandes sind natürliche Erschwernisse wie geringe Erträge oder die Hangneigung der Flächen. Diese Erschwernisse wirken auch auf alternative Nutzungen negativ. Eine besondere Erschwernis stellt die Hangneigung dar, da sie eine schlagkräftige und kostengünstige Mechanisierung verhindert.

Im Alpenvorland und in günstigen Tal- und Beckenlagen zeigt sich eine gewisse Intensivierung der Grünlandwirtschaft und Viehhaltung, sodass die aufwachsende Biomasse hier im Allgemeinen von den Tieren verwertet wird.

Die Details für das bestehende und prognostizierte Grünlandpotenzial der einzelnen KPGs sind in Anhang 6 zusammengefasst.

4.5.4. Energiepflanzen-Ertragspotenzial aus 5 verschiedenen Szenarien

Die nach Abzug der Tierhaltung in einigen Kleinproduktionsgebieten verbleibenden Flächen werden je nach Ertragslage in den einzelnen Jahren zum größten Teil für die menschliche Ernährung benötigt. Im Anhang sind die Versorgungsbilanzen von Getreide der letzten fünf Jahre angeführt. Im Erntejahr 2000/2001 bzw. 2002/2003 lag der Selbstversorgungsgrad von Getreide bei 95 bzw. 97 %. Ansonsten waren die Bilanzen ausgeglichen, oder es gab einen Überschuss an Getreide in Österreich. Da die Versorgungsbilanz jedes Jahr unterschiedliche Ausmaße annimmt, kann keine genaue Aussage darüber getroffen werden, ob tatsächlich überschüssige Flächen zur Verfügung stehen, die zum Anbau von Energiepflanzen genutzt werden können. Im Endeffekt wird jeder Landwirt selbst entscheiden, wie viele seiner Flächen er zur Energiepflanzenerzeugung verwenden wird. Ausschlaggebend für den Landwirt wird der erzielbare Gewinn sein.

Um für die Kleinproduktionsgebiete Österreichs als Orientierungshilfe dennoch Trockensubstanzerträge von Energiepflanzen angeben zu können, wurden zu diesem Zweck fünf verschiedene Szenarien mit zwei definierten Fruchtfolgen berechnet. Diese Fruchtfolgen wurden für die Kleinproduktionsgebiete im Nordöstlichen Flach- und Hügelland (KPG 801–816) minimal abgeändert, um eine bessere Anpassung an diese im Gegensatz zum übrigen Österreich eher trockenen Gebiete zu erreichen.

Die Glieder der Fruchtfolgen wurden nach dem zu erwartenden Trockensubstanzertrag sowie der Intensität der Kulturführung ausgewählt. Es werden schließlich nur 6 Kulturen betrachtet, da sich bei den übrigen ausgewählten Energiepflanzen diverse Probleme ergeben, die die Pflanzen zur Biogaserezeugung als nicht anbauwürdig erscheinen ließen (Tabelle 3).

Tabelle 3: Übersicht über die Energiepflanzen, ihre Erträge und Probleme bezüglich der Verwertung in Biogasanlagen

	TS-Ertrag [dt]	Probleme
Silomais	120–160	
Sonnenblume GPS	60–80	
Sudangras	100–150	
Roggen GPS	60–100	
Triticale GPS	60–100	
Luzerne	100–110	
Ackergras	120–140	(Hohe N-Versorgung nötig); nicht unbedingt von Nachteil
Landsberger Gemenge	50–70	Nach 1 Schnitt bleibt nur Weidelgras übrig
Zuckerrübe (ohne Blatt)	92–161	Erdanhang, Wassergehalt, begrenzte Lagerungszeit bzw. aufwändige Lagerung
Kartoffel (Knollen)	66–110	Aufwändige Ernte, Wassergehalt, begrenzte Lagerungszeit bzw. aufwändige Lagerung
Miscanthus (Chinaschilf)	100–250	Vergärbarkeit?
Raps GPS	30–50	Silierbarkeit, TS-Ertrag
Lupine GPS	18–36	TS-Ertrag
Sojabohne GPS	30	TS-Ertrag

Die hohe N-Versorgung, welche beim Ackergras nötig ist, kann auch als Vorteil angesehen werden, besonders wenn große Mengen an Biogasgülle anfallen und die Flächen zur Ausbringung nicht im Übermaß vorhanden sind. Dennoch wurde anstelle von Ackergras das weniger stickstoffabhängige

Kleegras gewählt, mit dem ähnliche Erträge wie bei hoch mit N versorgtem Ackergras erzielt werden können. Ähnliches wie für Kleegras gilt auch für Luzerne.

Folgende Fruchtfolgen für die Berechnung des Energiepflanzen-Ertragspotenzials entwickelt:

Fruchtfolge 1

- Sonnenblume, Mais, Sudangras, Mais;

Für die Gebiete im Nordöstlichen Flach- und Hügelland wurde ein Jahr mit Mais durch Sudangras, das an trockene Bedingungen besser angepasst ist, ersetzt. Diese Fruchtfolge lautet demnach folgendermaßen:

Fruchtfolge 1*

- Sonnenblume, Mais, Sudangras, Sudangras;

Als zweite Variante wurde eine Fruchtfolge ohne Mais gewählt :

Fruchtfolge 2

- Sonnenblume, Roggen GPS⁹, Kleegras, Kleegras, Roggen GPS, Sudangras;

Für die Gebiete im Nordöstlichen Flach- und Hügelland wurde das Kleegras durch die trockenheitsverträglichere Luzerne ersetzt. Dementsprechend setzt sich die Fruchtfolge wie folgt zusammen:

Fruchtfolge 2*

- Sonnenblume, Roggen GPS, Luzerne, Luzerne, Roggen GPS, Sudangras;

Fruchtfolge 2 wurde deswegen als 6-schlägige Fruchtfolge gewählt, da sowohl für Kleegras als auch für Luzerne ein Anbauabstand von 4 Jahren empfehlenswert ist.

Die Trockensubstanzerträge von Fruchtfolge 2 können aufgrund des fehlenden Maises die Erträge von Fruchtfolge 1 nicht erreichen. Jedoch soll in diesem Fall durch den Anbau von Kleegras bzw. Luzerne unter anderem auch der Aspekt der Bodengesundung berücksichtigt werden.

Aus Literaturquellen (siehe Beschreibung der Energiepflanzen in Anhang 1) wurde ein Durchschnittsertrag in Tonnen Trockensubstanz pro Hektar festgelegt (Tabelle 4). Der ermittelte durchschnittliche Ertrag wurde den mittleren Ertragslagen zugeordnet, die beiden anderen Erträge jeder Kulturpflanze wurden durch Zu- bzw. Abschlag von grob gerundet 15 % des Durchschnittsertrages ermittelt. Die Beschreibung der Ertragslagen erfolgte bereits im Kapitel 4.4.4 „Ertragspotenzial für verschiedene Flächenszenarien“.

⁹ Ganzpflanzensilage

Tabelle 4: Erträge ausgewählter Energiepflanzen in verschiedenen Ertragslagen Österreichs [t TS/ha]

	Gute Lagen	Mittlere Lagen	Schlechte Lagen
Silomais	16	14	12
Sonnenblume GPS	8	7	6
Sudangras	15	12	10
Roggen GPS	10	8	6
Kleegras*	12	10	8
Luzerne**		10,7	

* Wöckinger, 2004

** Luzerne wird in den definierten Fruchtfolgen lediglich im Nordöstlichen Flach- und Hügelland angebaut. Die genaue Angabe des Ertrags bezieht sich auf den Grünen Bericht 2002 (AWI, 2002).

Die Berechnung des Trockensubstanzertrags in Tonnen pro Hektar jeder einzelnen Kultur erfolgte für jedes Kleinproduktionsgebiet für

- die gesamte Stilllegungsfläche
- 30 % der Stilllegungsfläche
- 5 % der Ackerfläche
- 10 % der Ackerfläche
- 20 % der Ackerfläche

Hinter dieser Berechnung steckt die Überlegung, dass für jedes dieser 5 Szenarien die Erträge aus Fruchtfolge 1 (und Fruchtfolge 1*) sowie Fruchtfolge 2 (und Fruchtfolge 2*) separat berechnet werden. Auf diesen 5 verschiedenen ausgewählten Flächenszenarien sollen die beiden Fruchtfolgen rotieren. Dies bedeutet, dass im Falle der FF 1¹⁰ (und FF 1*) jede Kultur 1/4 der ausgewählten Fläche beansprucht (da die Fruchtfolge viergliedrig ist) und im Falle von FF 2 (und FF 2*) jede Kultur 1/6 der ausgewählten Fläche (aufgrund der sechsgliedrigen Fruchtfolge). Kommt eine Kultur zweimal in der Fruchtfolge vor, verdoppelt sich natürlich ihr Anteil an der Fläche.

Die Ergebnisse der einzelnen Kleinproduktionsgebiete sind im Anhang 7 zusammengefasst.

4.5.5. Spezifisches Potenzial in den verschiedenen Kleinproduktionsgebieten

Abbildung 7 bis Abbildung 16 zeigen die als Energiepflanzenpotenzial anfallende Menge an Trockensubstanz bezogen auf die Gesamtfläche¹¹ des jeweiligen Kleinproduktionsgebiets zum Zweck der Darstellung des spezifischen Potenzials in einem Gebiet. Anhand der Darstellungen soll vermittelt werden, ob es in einem Kleinproduktionsgebiet viel oder wenig Energiepflanzenpotenzial bezogen auf die Größe im Vergleich zu anderen Kleinproduktionsgebieten gibt. Dazu wurden die Ergebnisse aus den Berechnungen der vorhergehenden Kapitel („Energiepflanzen-Ertragspotenzial aus 5 verschiedenen Szenarien“ sowie „Grünlandpotenzial“ mit den Daten des derzeitigen Biomasseaufkommens) herangezogen. Für jedes Szenario der beiden Fruchtfolgen wurden die Trockensubstanzerträge auf dem Acker mit jenen des überschüssigen Grünlands addiert (d.h. beim Grünland wurden nur diejenigen Kleinproduktionsgebiete zur Berechnung herangezogen, wo es überschüssige Grünlandbiomasse

¹⁰ FF ... Fruchtfolge

¹¹ Gesamtfläche = Landwirtschaftliche Nutzfläche + Waldfläche + Sonstige Flächen (Gewässer, verbautes Gebiet, ...)

gibt) und das Ergebnis auf die Gesamtfläche des jeweiligen Kleinproduktionsgebietes bezogen. Dadurch, dass die Flächen der gewählten Szenarien beim Ackerland und somit die anfallenden Trockensubstanzerträge relativ gering sind und auch die Mengen der überschüssigen Grünlandbiomasse nicht übermäßig sind, ergaben sich beim Bezug auf die Gesamtflächen der Kleinproduktionsgebiete so niedrige Werte, dass anstatt einer Angabe der Ergebnisse in Tonnen Trockensubstanz pro Hektar die Angabe der Ergebnisse in Kilogramm Trockensubstanz pro Hektar als sinnvoll erscheint. Diese Werte stellen somit ein statistisches Bild dar, welches der bildlichen Veranschaulichung auf KPG-Ebene dienen soll.

Fruchtfolge 1

Die nicht gefärbten Gebiete in Tirol und Vorarlberg deuten darauf hin, dass es dort weder Stilllegungsflächen noch einen Überschuss an Grünland gibt. Wien wird im gesamten Kapitel „Potenzialberechnung“ nicht berücksichtigt. Wie nicht anders zu erwarten, ist in den ackerreichsten und gleichzeitig tier- und waldärmsten Gebieten Österreichs das größte spezifische Potenzial zu finden. Eine Ausnahme stellt das KPG 207 dar, welches auf Grund des hohen Überschusses bei der am Grünland produzierten Trockensubstanz (BUCHGRABER, 2003) ein hohes spezifisches Potenzial aufweist. Zum Vergleich sind nun alle 5 Szenarien und ihr spezifisches Potenzial für diese Fruchtfolge abgebildet.

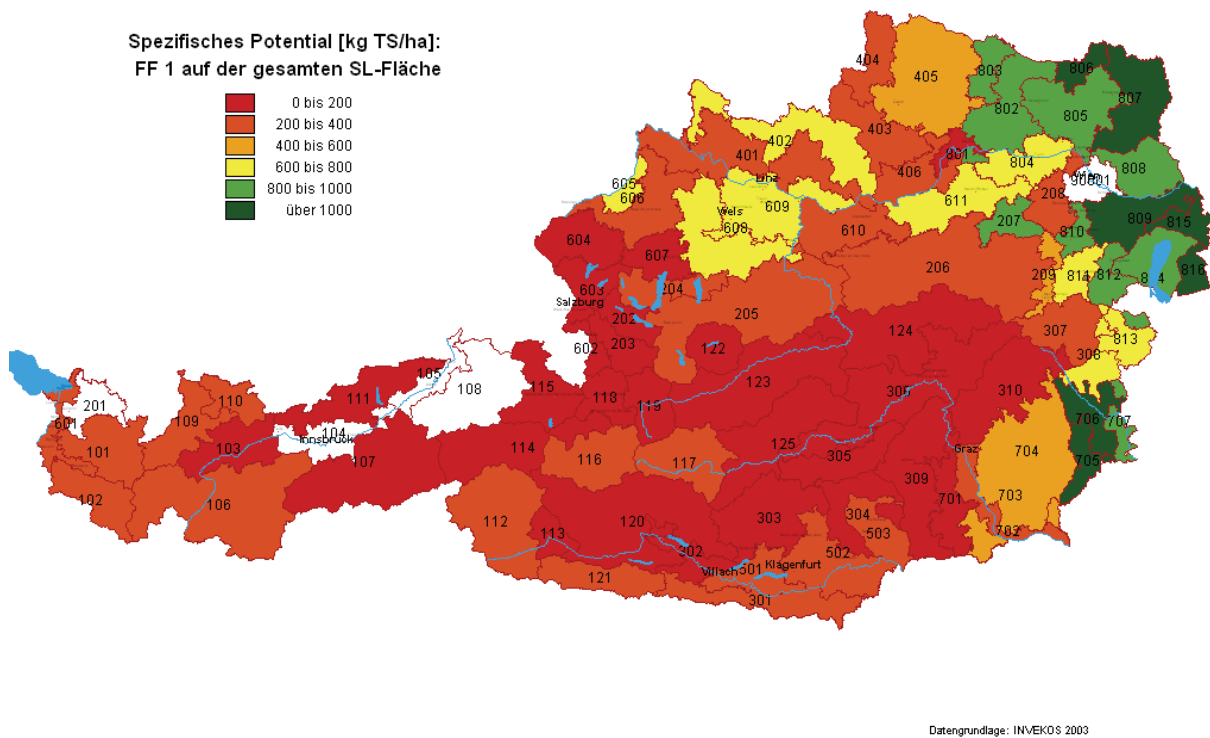


Abbildung 7: Spezifisches Potenzial für das Szenario Fruchtfolge 1 auf der gesamten Stilllegungsfläche inkl. Überschuss aus dem Grünland

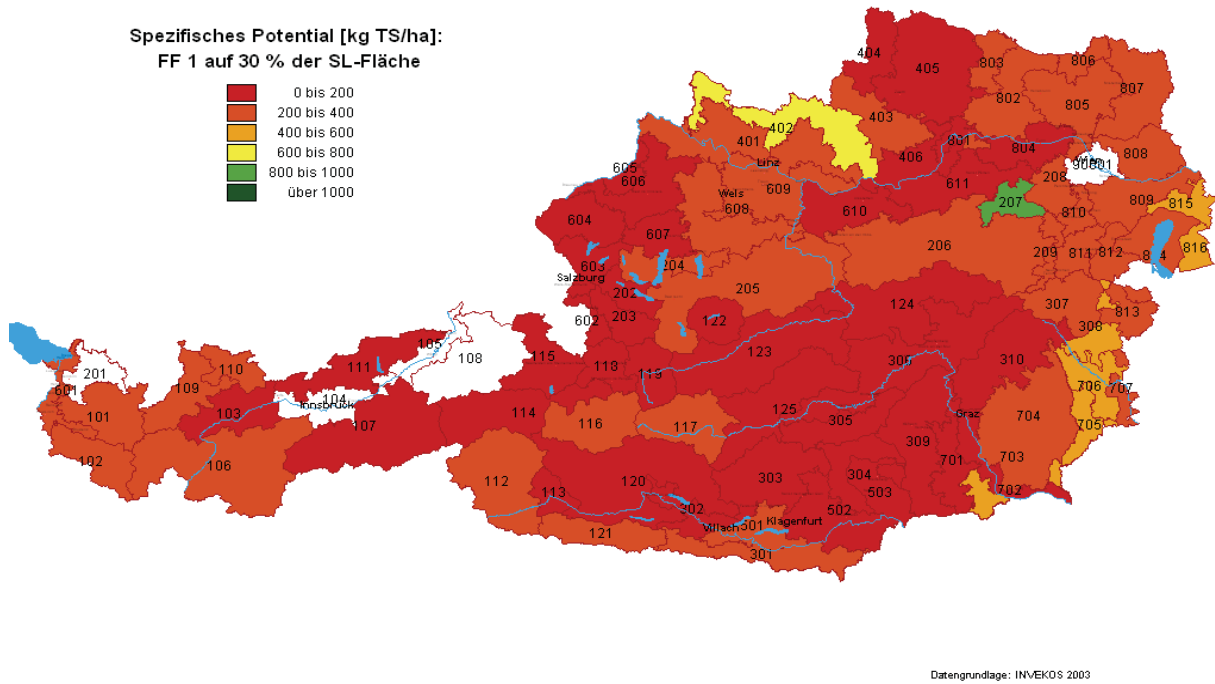


Abbildung 8: Spezifisches Potenzial für das Szenario Fruchtfolge 1 auf 30 % der Stilllegungsfläche inkl. Überschuss aus dem Grünland

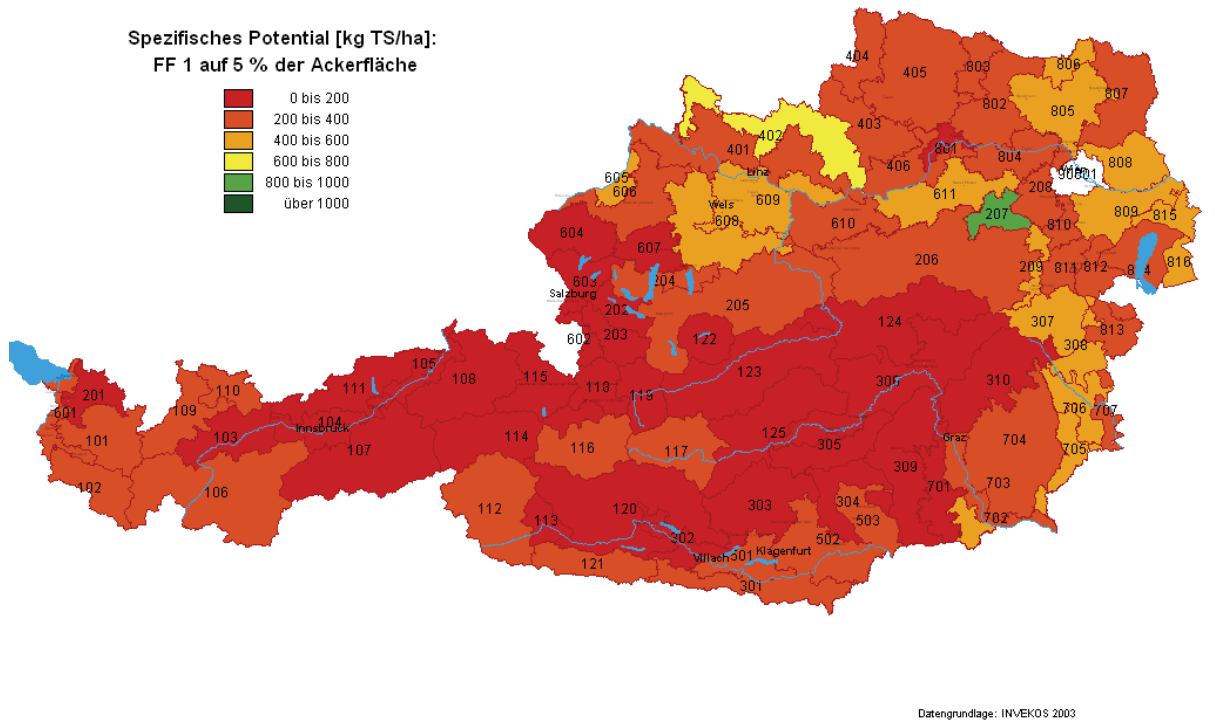


Abbildung 9: Spezifisches Potenzial für das Szenario Fruchtfolge 1 auf 5 % der Ackerfläche inkl. Überschuss aus dem Grünland

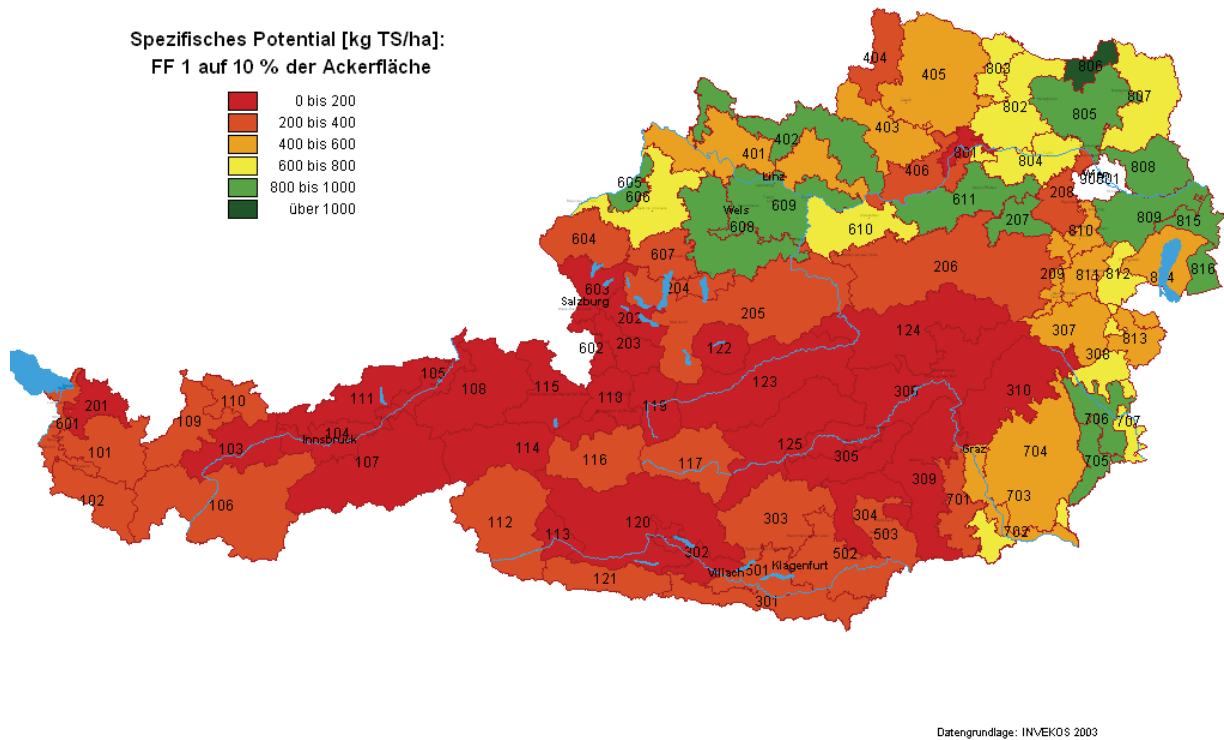


Abbildung 10: Spezifisches Potenzial für das Szenario Fruchtfolge 1 auf 10 % der Ackerfläche inkl. Überschuss aus dem Grünland

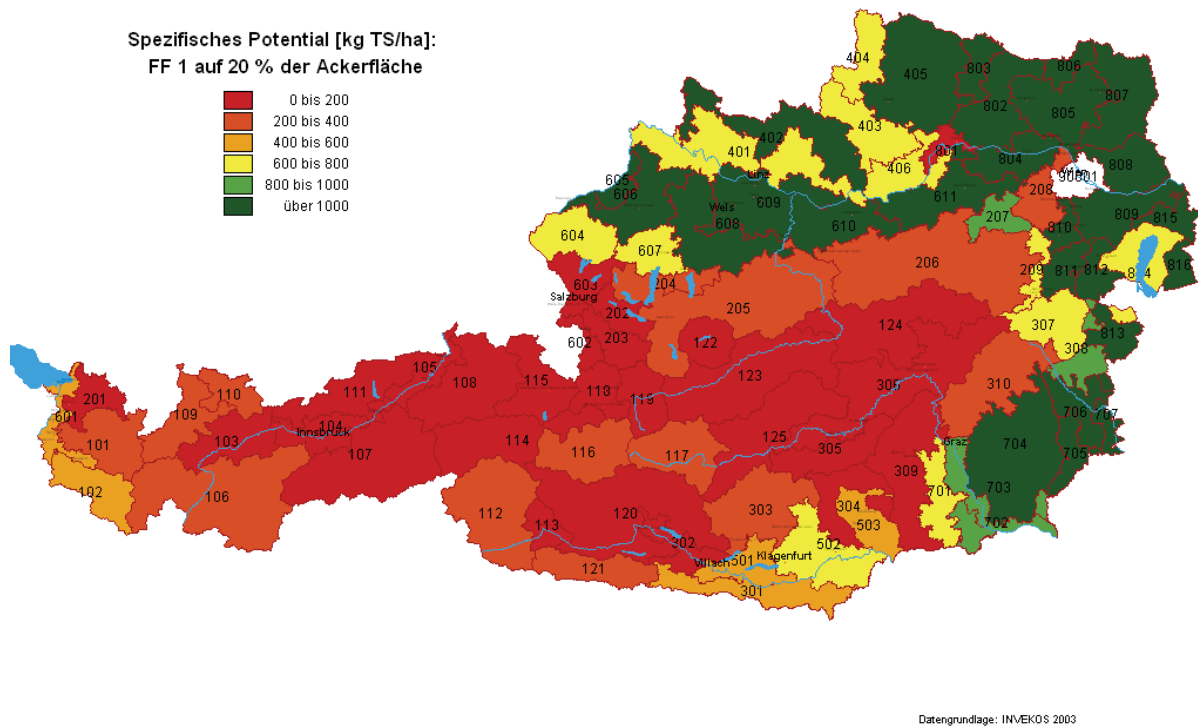


Abbildung 11: Spezifisches Potenzial für das Szenario Fruchtfolge 1 auf 20 % der Ackerfläche inkl. Überschuss aus dem Grünland

Fruchtfolge 2

Wenn man die Szenarien aus Fruchtfolge 1 mit jenen von Fruchtfolge 2 vergleicht, so fällt auf, dass die spezifischen Potenziale aufgrund der „extensiveren“ zweiten Fruchtfolge nicht mehr so hoch sind. Diese Tatsache wirkt sich (fast) ausschließlich in den Ackerbaugebieten aus. Im Gebiet der Alpen, wo es kaum Ackerland gibt, wird das spezifische Potenzial von der anfallenden überschüssigen Grünlandbiomasse dominiert, deshalb sind in diesen Gebieten zwischen den beiden Fruchtfolgevarianten kaum Unterschiede zu verzeichnen.

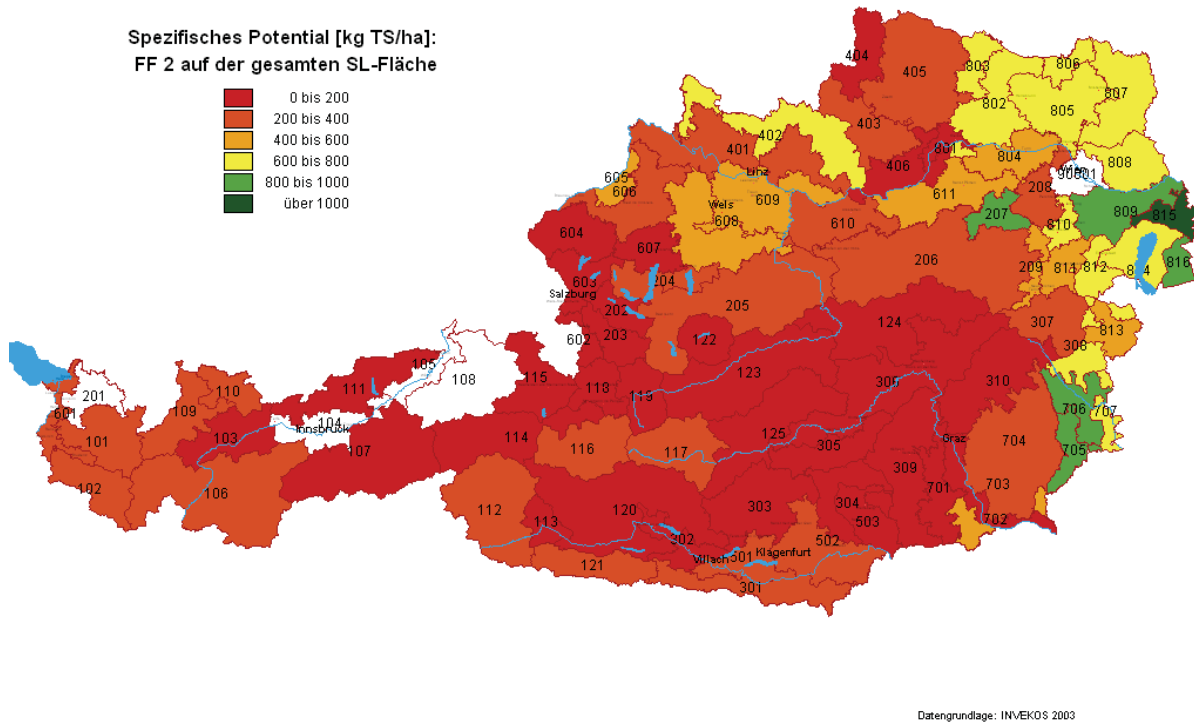


Abbildung 12: Spezifisches Potenzial für das Szenario Fruchtfolge 2 auf der gesamten Stillungsfläche inkl. Überschuss aus dem Grünland

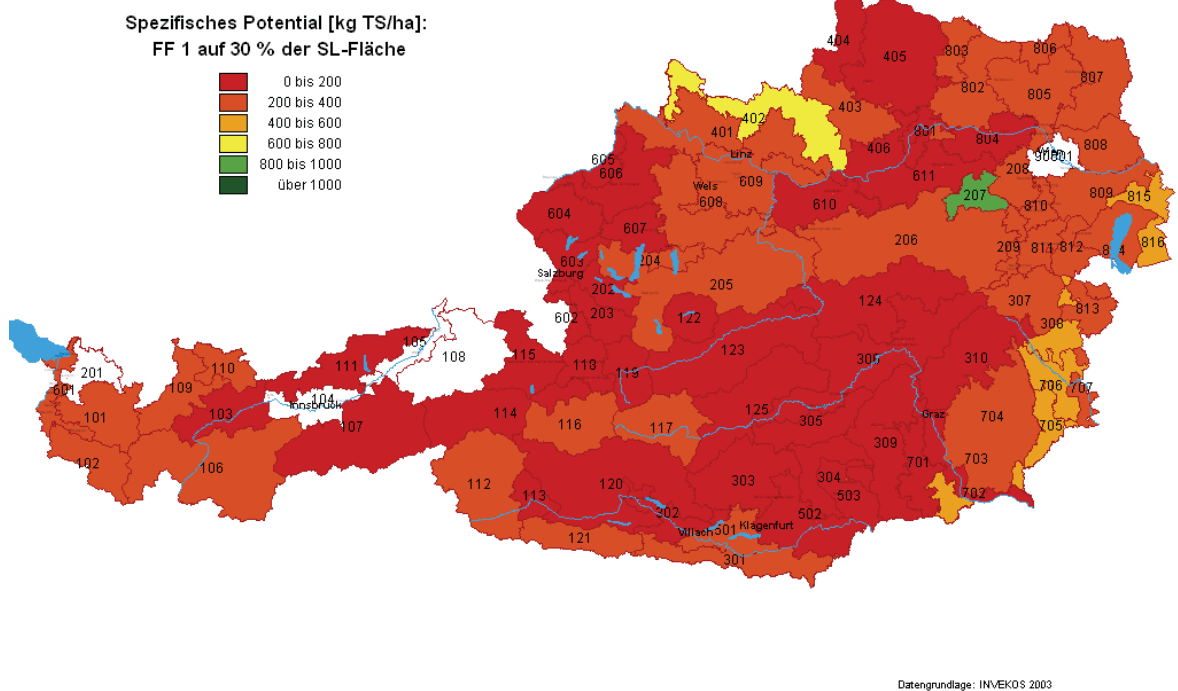


Abbildung 13: Spezifisches Potenzial für das Szenario Fruchtfolge 2 auf 30 % der Stillungsfläche inkl. Überschuss aus dem Grünland

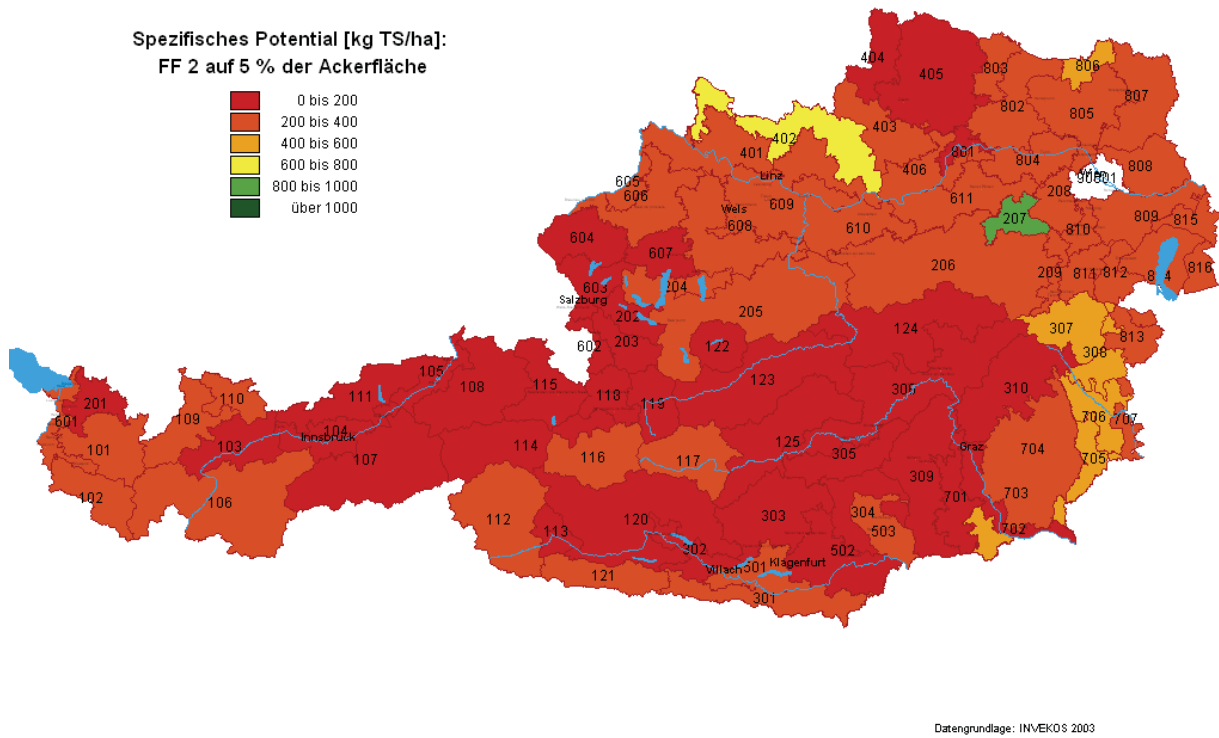


Abbildung 14: Spezifisches Potenzial für das Szenario Fruchtfolge 2 auf 5 % der Ackerfläche inkl. Überschuss aus dem Grünland

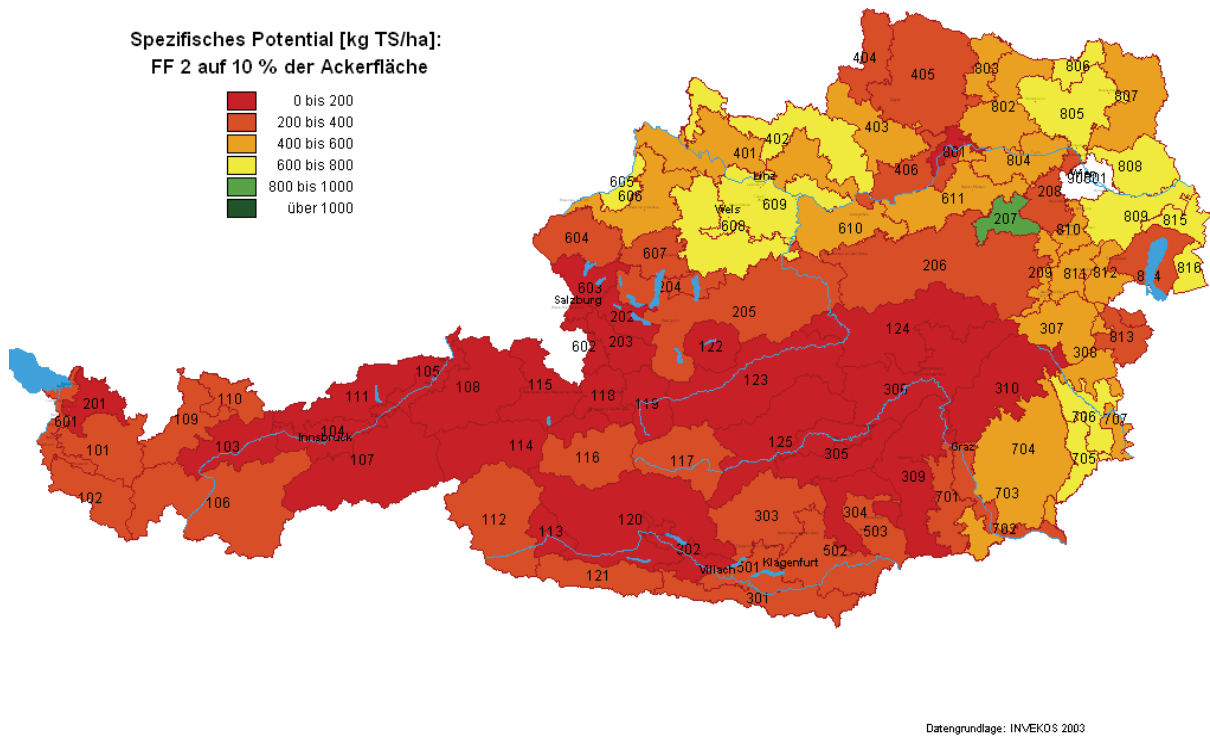


Abbildung 15: Spezifisches Potenzial für das Szenario Fruchtfolge 2 auf 10 % der Ackerfläche inkl. Überschuss aus dem Grünland

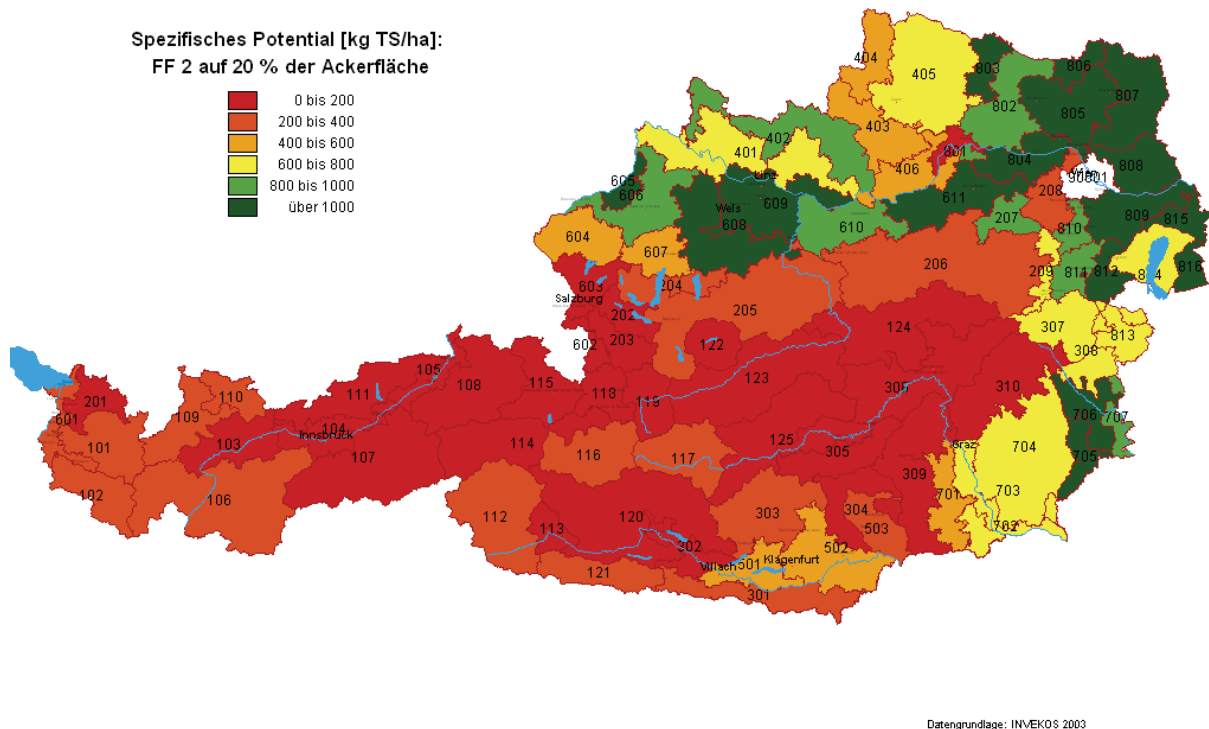


Abbildung 16: Spezifisches Potenzial für das Szenario Fruchtfolge 2 auf 20 % der Ackerfläche inkl. Überschuss aus dem Grünland

4.6. Schlussfolgerungen

Anhand der durchgeführten Varianten der Potenzialberechnungen (Ackerland abzüglich Tierhaltung, Wirtschaftsdüngeranfall, Biomasseanfall aus dem Grünland) wird bereits ersichtlich, dass es nicht definitiv möglich ist, österreichweit für jedes Kleinproduktionsgebiet ein bestimmtes Maß (Fläche oder Tonnen Trockensubstanz) für Energiepflanzen zu nennen, die in dem jeweiligen Kleinproduktionsgebiet zur Biogasproduktion zur Verfügung stehen.

Sehr stark wird dieses zur Verfügung stehende Potenzial von der Witterung über eine Vegetationsperiode beeinflusst. In trockenen oder extrem feuchten Jahren erreicht der Selbstversorgungsgrad z. B. von Getreide österreichweit gesehen nicht einmal 100 %, was bedeutet, dass ohnehin alle Flächen für die menschliche und tierische Ernährung gebraucht werden. In von der Witterung begünstigten Jahren wird oft eine Überschussproduktion erreicht, die nicht notwendig wäre, wenn die Überschussflächen einer anderen Nutzung zugeführt werden.

Fest steht, dass als eigentliches Potenzial für die Energiepflanzenenerzeugung die Stilllegungsflächen zur Verfügung stehen würden, jedoch lässt bei diesen Flächen die Qualität der Standorte oft zu wünschen übrig.

Fest steht weiters, dass in den Gebirgsregionen Österreichs keine Ackerflächen für einen Energiepflanzenanbau zur Verfügung stehen, dass aber nach der Prognose von BUCHGRABER (2003) in diesen Regionen immer mehr Grünlandflächen freigesetzt werden, deren Biomasse-Nutzung als Rohstoff für alternative Energien der Schließung der offenen Kulturlandschaft entgegenwirken würden. Allerdings ist bei vielen dieser Flächen die Nutzung durch die Hangneigung erschwert. Eine ähnlich schlagkräftige Mechanisierung wie auf ebenen Flächen ist nicht möglich. Weiters sollte in diesen Grünlandgebieten die Tierhaltung nicht vernachlässigt werden, da der anfallende Wirtschaftsdünger ebenfalls als Substrat zur Beschickung einer geplanten Biogasanlage genutzt werden könnte.

Da eine Vorhersage eines möglichen Flächenpotenzials zum Energiepflanzenanbau für die einzelnen Kleinproduktionsgebiete nicht dezidiert getroffen werden kann, wurde anhand verschiedener Fruchtfolgen und Flächenszenarien eine Ertragsberechnung durchgeführt.

Das Bewertungstool, welches eine Aussage über die Verfügbarkeit von Energiepflanzen in einem bestimmten Kleinproduktionsgebiet treffen sollte, kann nur als Orientierungshilfe dienen. Soll eine Biogasanlage in einem bestimmten Gebiet geplant werden, so muss die Situation vor Ort auf alle Fälle noch einmal gesondert betrachtet werden. Meistens weiß jeder Landwirt am besten über die Ertragsfähigkeit seiner Flächen Bescheid, so dass von ihm selbst eine Entscheidung über einen Energiepflanzenanbau getroffen werden muss.

Zu guter Letzt darf auch die ökonomische Seite auf keinen Fall außer Acht gelassen werden. Diese kann bzw. wird einen wesentlichen Anteil am Entscheidungsprozess des Landwirtes haben. Siehe dazu Kapitel 6 „Akzeptanz von Energiepflanzen und Biogasanlagen“.

4.7. Zusammenfassung

Im Rahmen der Aufgabenstellung „Verfügbarkeit von Energiepflanzen zur Biogasproduktion“ war es Ziel, einerseits einen Überblick über die Nutzung der landwirtschaftlichen Nutzfläche in Österreich zu geben und zum anderen das Flächenpotenzial für einen möglichen Anbau von Energiepflanzen für die 87 österreichischen Kleinproduktionsgebiete zu erheben.

Flächenmäßig teilt sich die landwirtschaftliche Nutzfläche österreichweit ca. zu 60 % in Grünland- und 40 % in Ackerflächen. Die Grünlandgebiete sind stark in der Region der Alpen konzentriert, wo gebietsweise überhaupt keine Ackerflächen zu finden sind. Im Gebiet der Voralpen und des Alpenvorlands, wo intensive Tierhaltung betrieben wird, dominieren die mehrmähdigen Wiesen, während im Alpenbereich die Almen und Bergmäher oft beträchtliche Teile der landwirtschaftlichen Nutzfläche einnehmen. Almen können in der Regel nur durch Beweiden genutzt werden.

Die Ackerbauggebiete Österreichs konzentrieren sich auf den Norden und Osten Österreichs, aber auch im Alpenvorland wird zum Teil intensiver Ackerbau betrieben. Im Weinviertel, dem östlichen Niederösterreich und dem Nordburgenland sind nur mehr ganz vereinzelt Grünlandflächen zu finden, die Ackerflächen nehmen hier mehr als 90 % der landwirtschaftlichen Nutzfläche ein. Dominierend hierbei ist der Getreidebau, lediglich im Südosten der Steiermark wird mehr Mais als Getreide angebaut.

Die Stilllegungsflächen sind in Österreich vorwiegend dort zu finden, wo die typischen Ackerbauggebiete liegen. Ihr Anteil an der landwirtschaftlichen Nutzfläche liegt in den einzelnen Gebieten kaum über 10 %.

Die Tierhaltung erfolgt in den Gunstlagen des Alpenvorlands sowie in Tal- und Beckenlagen relativ intensiv. Auffallend dabei ist der hohe Tierbesatz im Bereich des Tiroler Inntales.

Die Berechnung eines Flächenpotenzials, das für einen Energiepflanzenanbau zur Biogaserzeugung genutzt werden könnte, erfolgte über verschiedene Ansätze.

Ein erster Ansatz war die Berechnung der Ackerfläche, welche übrig bleibt, nachdem die für die Tierhaltung benötigten Ackerflächen von der Gesamtackerfläche eines Gebiets abgezogen wurden. Die für die Tierhaltung nötige Fläche wurde durch Unterstellung von Standardrationen und Durchschnittserträgen der in den Rationen enthaltenen Komponenten berechnet. Dabei zeigte sich, dass vor allem im Bereich der Alpen keine Ackerflächen zur Verfügung stehen.

Um eine Alternative zu diesem Problem aufzuzeigen, wurde in einem zweiten Ansatz der Wirtschaftsdüngeranfall aus der Tierhaltung in den einzelnen Kleinproduktionsgebieten berechnet. Dieser könnte ebenso verstärkt als Substrat für den Biogasprozess verwendet werden.

In einem dritten Ansatz wurde das Biomasseaufkommen aus dem Grünland berücksichtigt. Laut Expertenprognosen werden in den nächsten Jahren in den benachteiligten Gebieten Österreichs, in denen ohnehin keine Ackerflächen mehr als Potenzial zur Verfügung stehen, durch die Abnahme des Tierbestandes und den verstärkten Kraffuttereinsatz erhebliche Mengen (bis zu 1 Million t Trockensubstanz pro Jahr) an Grünlandbiomasse frei.

Als letzter Ansatz zur Potenzialberechnung wurde mit zwei definierten Fruchtfolgen für fünf verschiedene Flächenszenarien das Ertragspotenzial einiger weniger, aufgrund ihrer Eignung ausgewählter Energiepflanzen für die einzelnen Kleinproduktionsgebiete berechnet.

Wenn man die Versorgungsbilanzen von Getreide für die letzten Jahre und dabei den Selbstversorgungsgrad für Österreich betrachtet, kann festgestellt werden, dass es nicht möglich ist, definitiv vorauszusagen, wie viel an Flächen zur Energiepflanzenerzeugung in Österreich zur Verfügung stehen.

Das entwickelte Bewertungstool für die Biogasakzeptanz und Verfügbarkeit von Energiepflanzen bietet eine Hilfestellung, indem es einen Überblick über die landwirtschaftliche Situation in einem Kleinproduktionsgebiet verschafft. Wenn eine Biogasanlage in einem bestimmten Gebiet geplant werden soll, ist eine Auseinandersetzung mit der Situation vor Ort unumgänglich.

Für die Akzeptanz und Verfügbarkeit von Energiepflanzen zur Biogasgewinnung werden auch folgende Punkte mitentscheidend sein.

- Ob ein Landwirt Energiepflanzen für Biogasanlagen produziert oder nicht, wird wesentlich vom erzielbaren Preis abhängen.
- Auf der anderen Seite steht Biogasanlagenbetreibern auch das Angebot von Rohstoffen aus den Nachbarstaaten Österreichs zur Verfügung. Dieses Angebot wird teilweise auch schon genutzt.
- Werden überregionale Rohstoffe eingesetzt, muss sich der Anlagenbetreiber fragen, ob in der Umgebung der Anlage genügend Flächen zum Ausbringen des Gärrückstandes zur Verfügung stehen bzw. welche Kosten das Ausbringen verursacht.
- Laut Aktionsprogramm 2003 dürfen maximal 170 kg N/ha und Jahr in Form von Wirtschaftsdüngern ausgebracht werden. Regionale Rohstoffe mit sehr hohen Erträgen können aber deutlich mehr als 170 kg N pro ha in die Anlage liefern. Dies bedeutet, dass für das Ausbringen des Gärrückstandes mehr Fläche benötigt wird als für die Rohstoffproduktion. Zur Zeit wird diskutiert, ob der Gärrückstand von Biogasanlagen als Wirtschaftsdünger anzusehen ist oder nicht. Wird er nicht als Wirtschaftsdünger eingestuft, dürfen bis zu 210 kg N/ha und Jahr ausgebracht werden. Zusätzlich besteht die Möglichkeit, diesen Wert zu überschreiten, wenn eine wasserrechtliche Bewilligung vorliegt. Wird der Gärrückstand als Wirtschaftsdünger eingestuft, besteht keine legale Möglichkeit, die 170 kg N/ha und Jahr zu überschreiten.

5. Eignung von Energiepflanzen für die Vergärung

Dieses Kapitel beschreibt verschiedene Energiepflanzen im Hinblick auf ihre Eignung für den Biogasprozess und bildet die Grundlagen für eine integrale Bewertung der Eignung.

Der Schwerpunkt liegt dabei auf der Zusammensetzung der Pflanzen, verfahrenstechnische und anlagenspezifische Fragestellungen werden nicht betrachtet. Dies ermöglicht einen Vergleich der Pflanzen untereinander, unabhängig von der Anlagenkonzeption.

Eine der Hauptaufgaben bestand in der Erstellung eines geeigneten Bewertungssystems, das eine objektive Reihung der Pflanzen ermöglicht.

5.1. Grundlagen

Biogas entsteht bei der Vergärung von organischen Stoffen wie Gülle, Mist, Jauche, Energiepflanzen, Ernterückständen und Speiseresten. In verschiedenen Reaktortypen wird durch anaerobe Vergärung Biogas erzeugt (Abbildung 17).

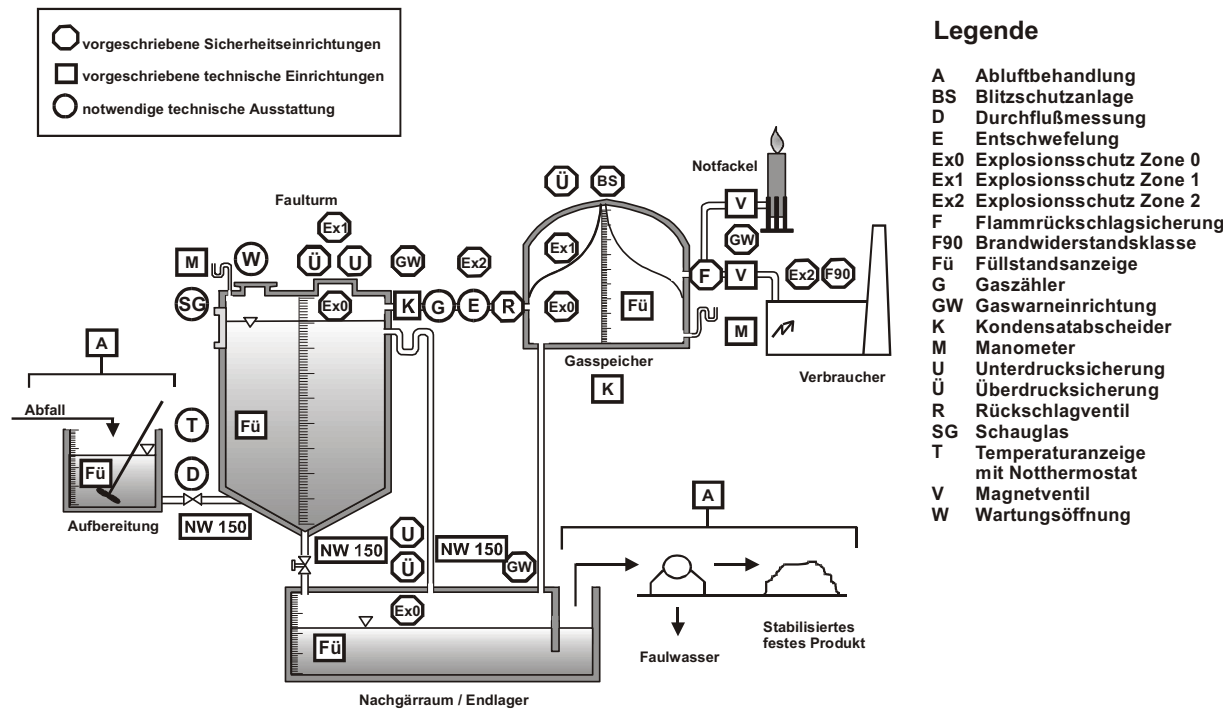


Abbildung 17: Allgemeines Verfahrensschema einer Biogasanlage mit Aufbereitung des Substrates, Faulturm (Biogasreaktor), Nachgärraum (Endlager), Gasspeicher, Gasverwertung, Gärrestaubebereitung und notwendigen Sicherheitseinrichtungen (Braun, 2002)

Die Anzahl der Biogasanlagen zur Ökostromproduktion in Österreich ist zwischen 1993 und 2001 von 20 auf über 120 gestiegen (BFL 2001). In Österreich stehen pro Jahr 26,25 Mio. t landwirtschaftlicher Dünger und außerlandwirtschaftliche Rohstoffe zur Verfügung. Davon entfällt der größte Teil (18,17 Mio. t pro Jahr bzw. 69,2 %) auf landwirtschaftlichen Dünger in Form von Festmist, Gülle und Jauche. Der Rest (8,08 Mio. t pro Jahr bzw. 30,8 %) besteht aus vergärbaren außerlandwirtschaftlichen organischen Reststoffen. Hier wiederum tragen Fäkalien aus Klärgruben und Klärschlamm aus kommunalen, gewerblichen und industriellen Kläranlagen den größten Teil dazu bei (7,6 Mio. t/a bzw. 28,8 %). Küchen- und Speiseabfälle sind von untergeordneter Bedeutung. Bei einem Wirkungsgrad von 28 % elektrisch bzw. 58 % thermisch, lassen sich insgesamt durch die Vergärung etwa 1.350 GWh \cdot a $^{-1}$ elektrischer Strom und 1.390 GWh \cdot a $^{-1}$ Wärme produzieren. Auf landwirtschaftliche Rohstoffe entfallen dabei 80 % und auf außerlandwirtschaftliche organische Rohstoffe 20 %. Von großem

ökologischen Vorteil ist dabei, dass Biogas CO₂-neutral verbrannt wird und deshalb nicht zu einem klimaschädigenden Anstieg des CO₂-Gehalts in der Atmosphäre führt. Gleichzeitig wird eine Minderung der CO₂-Emissionen, durch die Substitution von Strom und Wärme durch den Einsatz von Blockheizkraftwerken, bewirkt.

5.2. Substratquellen

Jede organische Substanz, die von Mikroorganismen umgesetzt werden kann, ist für die Biogasgewinnung verwendbar. Rohstoffe kommen aus der Landwirtschaft und aus gewerblichen bzw. industriellen Quellen (Tabelle 5).

Tabelle 5: Rohstoffe und Abfälle als Substrate für Biogasanlagen

Landwirtschaftliche Rohstoffe	Gewerbliche Abfälle	Industrieabfälle
Gülle	Bioabfall	Proteinreiche Industrieabwässer
Mist	Speisereste	Kohlenhydratreiche Industrieabwässer
Mais/ Maissilage	TKV-Abfälle	Fettabscheiderrückstände
Gras / Grassilage	Schlachthofabfälle	
Sonnenblumen	Fette	
Sonstige Energiepflanzen	Obst- und Gemüseabfälle	
	Klärschlamm	
	Kompost	

5.3. Allgemeiner Verfahrensablauf der Biogaserzeugung

Der Verfahrensablauf der Biogasproduktion lässt sich grob in vier Schritte gliedern. Abbildung 18 zeigt ein Schema des grundlegenden Verfahrensablaufs nach (FNR, 2004).

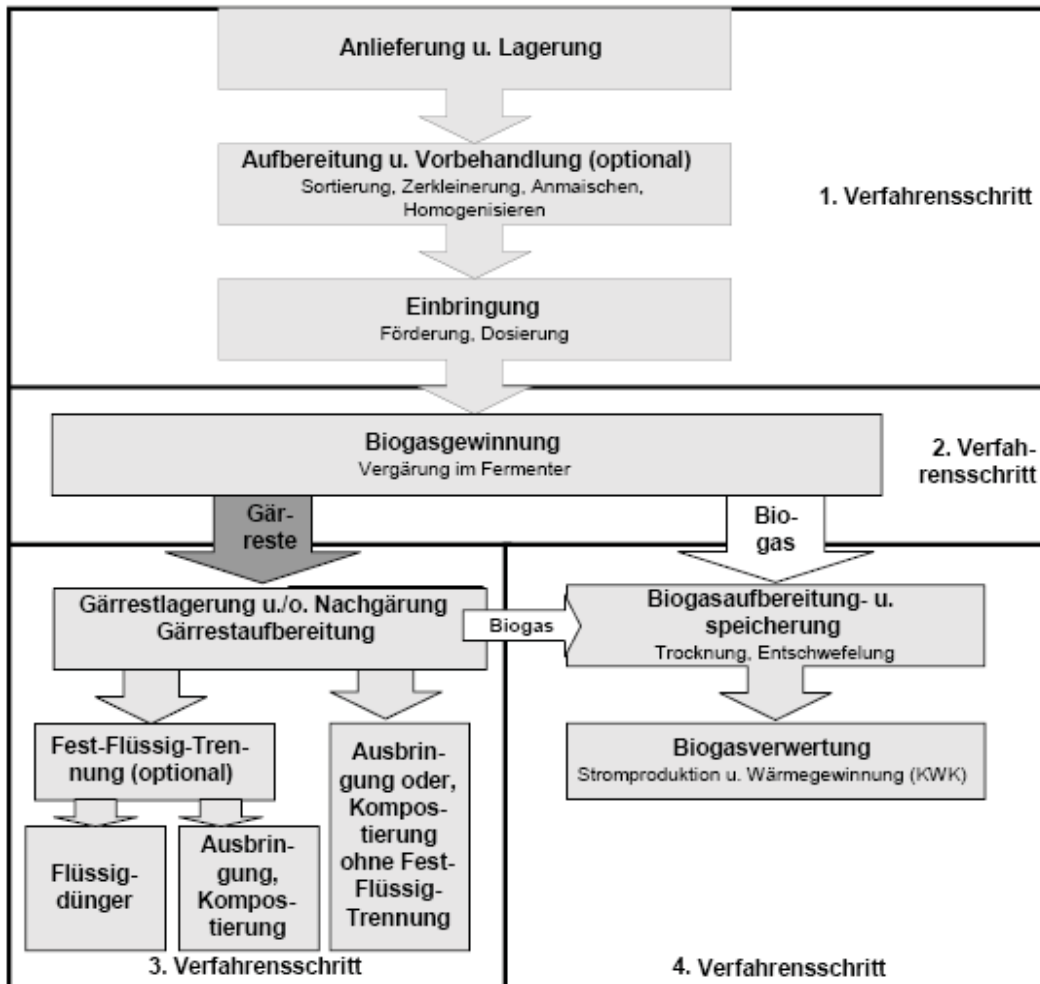


Abbildung 18: Allgemeiner Verfahrensablauf der Biogaserzeugung nach FNR (2004)

5.3.1. Bereitstellung und Lagerung

In der ersten Stufe erfolgt die Bereitstellung des Substrats, das im Fall von Energiepflanzen die gesamte Kette des Pflanzenanbaus inklusive Ernte und Transport vom Feld umfasst. Dieser Teil wird in den Kapiteln 4 „Verfügbarkeit von Energiepflanzen“ und 6 „Akzeptanz von Energiepflanzen und Biogasanlagen“ bearbeitet und hier deswegen im Weiteren nicht behandelt.

Gegebenenfalls erfolgt eine Aufbereitung, Behandlung (z.B. Pasteurisierung) und allenfalls Lagerung des Substrats. Letztere ist besonders beim Einsatz nachwachsender Rohstoffe von großer Bedeutung, da diese in der Regel nur einmal im Jahr geerntet werden, jedoch im Betrieb täglich zur Verfügung stehen müssen.

Wichtig ist hier vor allem eine verlustarme Lagerung, um Abbauprozesse, die den Gasertrag mindern, möglichst zu vermeiden und den Großteil der in den Pflanzen gespeicherten Energie tatsächlich der Biogasanlage zuführen zu können. Die Silierung, die eine Konservierung der Substrate durch eine milchsäure Gärung darstellt, ist bei sachgerechter Durchführung dabei die verlustärmste Form der Lagerung und mit dem geringsten Aufwand verbunden (Jeroch et al., 1993; Knabe et al., 1986; Schef-

fer et al., 1996). Sie ist eine in der Landwirtschaft weit verbreitete Technik und scheint außerdem in der Biogasanlage zu höheren Gasausbeuten zu führen als z.B. bei Verwendung von Frischmaterial, wie etwa Amon et al., (2003) für Maissilage und Klee gras zeigen konnten. Deswegen bildet sie den Schwerpunkt der Betrachtungen im Zusammenhang mit der Lagerfähigkeit von Substraten.

Ein weiteres Potenzial zur Optimierung der Biogasanlage ist in der Aufbereitung des Substrats zu sehen. Hier müssen einerseits die gesetzlichen Vorgaben bezüglich Hygienisierung eingehalten werden, andererseits gilt es, den Anforderungen der Mikroorganismen im Reaktor möglichst gerecht zu werden. Da bei alleiniger Verwendung von nachwachsenden Rohstoffen und/oder Gülle keine Hygienisierung vorgeschrieben ist, kommen für solche Substrate unter Umständen eine Störstoffabtrennung und/oder eine allfällige Zerkleinerung in Frage. Letztere erschließt Oberflächen für den biologischen Abbau und erleichtert vor allem den Angriff der Exoenzyme in der Hydrolysestufe des anaeroben Abbaus. Auch Verfahren wie eine alkalische Vorbehandlung, die einen besseren Aufschluss der Fasern ermöglichen, sind denkbar (Scherer, 2001).

Werden Pumpaggregate zur Beschickung des Fermenters eingesetzt, müssen die Substrate teils zerkleinert werden, um deren Funktionsfähigkeit nicht zu gefährden. Besonders faserhaltige Substrate neigen sonst zur Verstopfung in den Substrat- und Gasleitungen und gefährden den kontinuierlichen Betrieb. Eine Zerkleinerung kann entweder vor der Einbringung der Substrate in die Vorgrube, in der Vorgrube, in der Pumpleitung vor der Fördereinrichtung oder in der Fördereinrichtung selbst erfolgen (FNR, 2004).

Für nachwachsende Rohstoffe kommen insbesondere Zerkleinerungseinrichtungen bei der Direkteinspeisung von Feststoffen in Frage. Diese setzt sich immer mehr durch, da sich die üblicherweise in Vorgruben eingesetzten Schneidpumpen bei Trockensubstanzgehalten über 12 % problematisch verhalten und der Rühraufwand extrem steigt. Zusätzliche Schwierigkeiten bereitet das Aufschwimmverhalten der meisten landwirtschaftlichen Kofermente (Block und Mitterleitner, 2005). Da sich auch Einspülvorrichtungen durch die stoßweise Beschickung nachteilig auf die Gasproduktion auswirken und zudem zu verstärkten Geruchsproblemen führen, sind Vorrichtungen zur Direkteinspeisung aus mehreren Gründen überlegen.

Im einfachsten Fall des Eintrags mit Schnecken können dazu nach Block und Mitterleitner (2005) Dosierstationen, die direkt auf dem Fermenter stehen, verwendet werden. Dabei können entweder weiterentwickelte CCM Dosierer eingesetzt oder Futtermischwagen zu stationären Dosiereinrichtungen umgerüstet werden. Bei halmgutartiger Biomasse werden häufig Horizontalmischer verwendet. Auch über hydraulische Systeme kann das Material in die Anlage gefördert werden (Block und Mitterleitner, 2005).

5.3.2. Methangärung

Im zweiten Verfahrensschritt erfolgt der eigentliche anaerobe Abbau der Biomasse im Fermenter.

Substratmenge und gewählte hydraulische Verweilzeit bestimmen dabei das Volumen des Biogasreaktors. Trotz der unterschiedlichen möglichen Ausführungsvarianten muss die Grundausrüstung

- Gas- und Flüssigkeitsdichtheit gewährleisten
- über Einrichtungen zur Bereitstellung von Wärme zur Einhaltung der erforderlichen Prozesstemperatur verfügen
- Wärmeverluste und Temperaturschwankungen durch Wärmeisolierung verhindern
- Aggregate zur Durchmischung des Substrats besitzen, um Schwimm- und Sinkschichtbildung zu vermeiden, Temperatur- und Nährstoffgefälle auszugleichen, eine Homogenisierung des Substrats sicherzustellen und die Ausgasung des entstehenden Gasgemisches zu ermöglichen.

- Möglichkeiten zum Sedimentaustrag aufweisen
- die sichere Ableitung des gewonnenen Biogases ermöglichen
- Mess-, Steuer-, und Regelungstechnik zur Überwachung und Steuerung des Gärprozesses und Möglichkeiten zur Probenahme aus dem Fermenter besitzen (Institut für Energetik und Umwelt, 2005).

Einrichtungen zur Wartung wie Schaugläser und Revisionsschächte sollten ebenfalls vorgesehen sein, Armaturen sowie Über- und Unterdrucksicherungen zur Einhaltung der vorgeschriebenen Sicherheitsregeln sollten eingebaut werden.

Wichtig ist, dass die Materialien für das im Biogasreaktor herrschende Milieu geeignet sind, wobei hier insbesondere auf Korrosionsbeständigkeit zu achten ist, da das im Biogas enthaltene H₂S das Material stark beansprucht.

Die praktische Umsetzung der Biogasgewinnung erfolgt in unterschiedlichster Weise, was sich in der Vielzahl der Verfahrensformen und Bauarten der Fermenter widerspiegelt.

Eine grobe Einteilung der Verfahren kann dabei z.B. nach folgenden Gesichtspunkten getroffen werden:

- Nach der Bauart des eingesetzten Fermenters: Es gibt einige unterschiedliche Fermentertypen und Gärsysteme, wobei sich jedoch nicht alle vorhandenen im Dauerbetrieb bewährt haben, und deshalb auch nicht in der Praxis relevant sind. Nach Scholwin et al., (2004b) und Hopfner Sixt et al., (2005) werden im landwirtschaftlichen Bereich vor allem stehende, zylindrische Ausführungen bevorzugt.
- Nach dem Trockensubstanzgehalt der eingesetzten Biomasse:
 - Nassvergärung: Trockensubstanzgehalt (TS) bis maximal 15 %
 - Trockenvergärung: Trockensubstanzgehalt (TS) 25 bis 60 %
- Nach der Betriebstemperatur: Es gibt unterschiedliche Temperaturbereiche, in denen die biologische Reaktion der Methangärung abläuft und mit welcher Biogasreaktoren betrieben werden können:
 - Psychrophile Temperatur: 10–25 °C
 - Mesophile Temperatur: 25–40 °C
 - Thermophile Temperatur: 49–60 °C
 - Der Großteil der landwirtschaftlichen Biogasanlagen wird mesophil betrieben. Lediglich großräumige Biogasanlagen mit Co-Vergärung werden aus Gründen der Hygienisierung öfter thermophil betrieben. Da der Gewinn an freier Reaktionsenergie der Methangärung äußerst gering ist, kommt es, anders als bei der Kompostierung, zu keiner Selbsterwärmung der Reaktoren. Der Reaktorinhalt muss also beheizt werden. Rund 6 bis sogar 40 % des gebildeten Biogases müssen zur Wärmeproduktion herangezogen werden.
- Nach der Beschickungsart lassen sich prinzipiell drei Arten feststellen:
 - Bei sog. Batch-Systemen wird das frische Substrat zusammen mit Impfkulturen zugeführt. In den folgenden 3–4 Wochen wird das Material anaerob abgebaut. Zu Beginn ist dabei eine sich steigernde Gasproduktion zu bemerken, diese beginnt sich jedoch nach ca. 10–14 Tagen zu verringern, bis schlussendlich ein Wert erreicht wird, der etwa der Hälfte der maximal möglichen Gasausbeute entspricht. Um dieser unregelmäßigen Produktion entgegen zu wirken, werden 3–4 Reaktoren parallel betrieben, die jedoch zu unterschiedlichen Zeiten gefüllt werden.

- AFC-Systeme (Accumulation continuous flow) sind ähnlich den o.g. Systemen, nur dient hier der Reaktor gleichzeitig als Dunggrube. Frischer Dung fließt direkt in den Reaktor, und kann nach dem Faulprozess als Dünger verwendet werden. Im Winter, wenn kein Dünger benötigt wird, wird der Überschuss in einen Sammel tank geleitet, der zusätzlich mit einer Membran versehen ist. Dadurch lässt sich das produzierte Gas speichern (Wellinger 2000).
- Am häufigsten werden jedoch kontinuierliche Systeme verwendet. Dabei wird dem Reaktor ständig oder in kurzen Abständen (semikontinuierlich) Substrat zugeführt, wobei gleichzeitig die gleiche Menge fermentiertes Substrat abgezogen wird.
 - Nach Substratart und -herkunft: "Landwirtschaftliche Biogasanlagen" oder "Kofermentation-sanlagen". Kofermentation bedeutet, dass neben landwirtschaftlicher Gülle noch andere Substanzen beigemischt werden. Im landwirtschaftlichen Bereich werden zur Zeit v.a. einstufige Reaktorsysteme eingesetzt, wobei prinzipiell auch zwei- oder mehrstufige Betriebssysteme möglich wären (BFL 2001).

Für genauere Informationen bezüglich Fermenterbauarten und in der landwirtschaftlichen Vergärung eingesetzter Technik wird auf die einschlägige Sachliteratur, z.B. (Bischofberger et al, 2005; Edelmann, 2001. Scholwin et al., 2004b) verwiesen.

5.3.3. Gasnutzung

Betrachtet man die Stoff- und Energiebilanz von aerobem (z.B. aerobe Abwasserreinigung in einer Kläranlage) und anaerobem Abbau, dann erkennt man, dass beim anaeroben Prozess einerseits weniger Überschussbiomasse und andererseits ein energiereiches Endprodukt entsteht (Tabelle 6).

Tabelle 6: Stoff- und Energiebilanz aerober und anaerober biologischer Prozesse

1000 kg organisches Material	Produktion	Energieaufwand
Aerobe Umwandlung	500 kg neue Biomasse	Strom für Belüftung 2000 kg O ₂ = 1000 kWh
Anaerobe Umwandlung	50 kg neue Biomasse + 350 kg Methan = 1000 kWh	Heizen des Reaktors auf 35 – 55°C

Es ist also im Fall der aeroben Verfahren jeweils großer Energieaufwand für die Belüftung während der Abfallbehandlung nötig, während im Fall der Methangärung Energie in Form von Biogas produziert wird (Verstraete, 1996). Im Gegensatz zur Kompostierung und der aeroben Abwasserbehandlung weist die Vergärung also eine positive Energiebilanz auf. Aus einer Tonne organischem Material können pro Tag ca. 100 m³ Biogas erzeugt werden (Wellinger, 1996). Der Heizwert pro m³ Biogas entspricht je nach Methangehalt rund 6,4 kWh. Daraus lassen sich je nach Wirkungsgrad des Blockheizkraftwerks bis zu 2 kWh Strom und 2 kWh Wärme (nach Abzug der Prozesswärme) erzeugen.

Beim biologischen Abbau von organischem Material unter Luftausschluss entsteht ein brennbares Biogas (Tabelle 7).

Tabelle 7: Volumenanteil der Hauptkomponenten im Biogas

Komponente	Volumenanteil
Methan	55–70 %
Kohlendioxid	30–45 %
Schwefelwasserstoff	0–2 %
Wasserstoff (H₂)	0–1 %
Sauerstoff (O₂)	0–1 %
Stickstoff (N₂)	0–3 %

Je nach verwendeter Ausgangssubstanz (Güllearten, Energiepflanzen) lassen sich unterschiedliche Gasausbeuten erzielen.

In landwirtschaftlichen Biogasanlagen findet die Gasnutzung hauptsächlich in Verbrennungsmotoren statt, die einen Generator zur Stromerzeugung antreiben. Oft wird die dabei entstehende Abwärme zusätzlich genutzt und somit eine Kraft-Wärme-Kopplung erreicht.

Außerdem kann Biogas in Mikrogasturbinen, Stirlingmotoren und Brennstoffzellen Verwendung finden, wobei auch dies hauptsächlich der Stromerzeugung dient (Scholwin et al., 2004a; VDI, 2001; Institut für Energetik und Umwelt, 2005).

Eine weitere Möglichkeit ist in der rein thermischen Nutzung des Biogases in dafür geeigneten Brennern oder Heizkesseln zu sehen (Scholwin et al., 2004a). Immer mehr in den Blickpunkt rücken auch die Verwendung von Biogas als Treibstoff und die Einspeisung ins Erdgasnetz (Institut für Energetik und Umwelt, 2005).

5.3.4. Landwirtschaftliche Nutzung des Gärrestes

Bei der Methangärung wird ein Großteil (rund 90 %) des eingebrachten biologisch abbaubaren Kohlenstoffs in Biogas umgewandelt. Der Rest wird zu bakterieller Biomasse umgebaut. Diese Biomasse bildet gemeinsam mit dem nicht abbaubaren Anteil des Substrats den so genannten Gärrest. Je nach Herkunft des Ausgangsmaterials wird bei landwirtschaftlichen Biogasanlagen häufig zwischen Biogasgülle (ausschließlich Ausgangsmaterialien aus der land- und forstwirtschaftlichen Urproduktion) und Gärrückständen (organische Reststoffe als Ausgangsmaterial geeignet für Biogasanlagen im Sinne der stofflichen Verwertung) unterschieden (BMLFUW, 2001). Da sowohl der im Ausgangssubstrat enthaltene Stickstoff als auch Phosphor weitestgehend in den Gärrückständen verbleiben, können diese, sofern das Substrat nicht besonders mit Schadstoffen belastet ist, zur Düngung eingesetzt werden.

Neben der erwünschten Düngewirkung weist die landwirtschaftliche Verwertung der Biogasgülle im Vergleich zu unvergorener Gülle zusätzliche positive Aspekte auf:

- Reduktion krankheitserregender Keime und Unkrautsamen, dadurch verringerter Biozid und Herbizid-Einsatz
- Verbesserte Fließfähigkeit und Pflanzenverträglichkeit der Gülle
- Deutliche Reduktion der geruchsbildenden Substanzen
- Verbesserung der unmittelbaren Stickstoff-Düngewirkung durch Erhöhung des Ammoniumstickstoffgehalts
- Verhinderung unkontrollierter Methanemissionen, die während der Wirtschaftsdüngerlagerung entstehen.

Der höhere Ammoniumstickstoffgehalt von Biogasgülle erfordert allerdings den Einsatz emissionsarmer Ausbringtechniken (z.B. Schleppschlauchverteiler) und eine noch strenger am Pflanzenbedarf ausgerichtete Ausbringung in der Vegetation, um gasförmige Stickstoffverluste in Form von Ammoniak und Lachgas zu vermeiden. Im Gegenzug allerdings ist auch mit einem erhöhten Düngewert der Gülle zu rechnen. Dadurch kann Mineraldünger und damit Geld eingespart werden.

Die Mineraldüngerherstellung selbst ist mit klimarelevanten CO₂-Emissionen verbunden, die durch Einsparung derselben vermindert werden können. Deckt man den N-Bedarf anstelle von mineralischem Stickstoff mit Biogasgülle, so entsteht daraus ein erhebliches Einsparungspotenzial an CO₂-Emissionen (Puchas, 2003). Durch das bessere Kohlenstoff/ Stickstoff-Verhältnis kann die ausgegorene Gülle mineralischen Stickstoffdünger vollständig ersetzen und bietet so ein Einsparungspotenzial an CO₂-Emissionen für Mais von ca. 450 kg/ha CO₂-Äquivalente, Gerste ca. 200 kg/ha, Weizen ca. 374 kg/ha, da bei der Erzeugung von 1kg mineralischem Stickstoff die Umwelt mit 2,6 kg CO₂ belastet wird.

Wie hoch die Düngewirkung und dadurch bedingt die Einsparung an klimarelevanten Emissionen ausfällt, wird durch die Zusammensetzung des Ausgangssubstrats und die gewählte Verfahrensform, einerseits der Vergärung, andererseits der Gärrestverwertung und Ausbringung bestimmt.

Somit wird ersichtlich, dass in allen Verfahrensschritten, beginnend mit der Aufbereitung, Lagerung und Vorbehandlung, über die eigentliche Methangärung bis zur Gas- und Gärrestnutzung, die Zusammensetzung und physikalischen Eigenschaften des Substrats einen wesentlichen Einfluss auf den gesamten Prozess ausüben.

5.4. Auswahl der zu bearbeitenden Pflanzen und Erntestadien

In einem ersten Arbeitsschritt wurden gemeinsam mit den Projektpartnern Pflanzenarten diskutiert, die sich potenziell für eine Verarbeitung in der Biogasanlage eignen.

Kriterien für die Auswahl aus Sicht der Eignung waren vor allem eine überblicksmäßige Beurteilung der Inhaltsstoffe und damit eine Abschätzung über das zu erwartende Biomethanpotenzial. Hohe Trockenmasseerträge waren ebenso ausschlaggebend wie Wirtschaftlichkeitsüberlegungen. Im Zuge dieser ersten Literaturrecherche wurden außerdem Pflanzen erhoben, mit denen im In- bzw. Ausland bereits Erfahrungen zur Vergärung vorliegen, oder aber auch Forschungsarbeiten im Gange sind.

Vor allem fetthaltige Pflanzen sollten aufgrund des zu erwartenden hohen Methanertrags näher untersucht werden.

Danach wurde die Pflanzenliste auf die im Projekt verwendeten Arten reduziert. Hier wurden vor allem die Anpasstheit an klimatische Bedingungen in Österreich und damit die Möglichkeit zur Ausschöpfung des Ertragspotenzials, vorhandene Anbauerfahrung, mögliche auftretende Probleme in der Bereitstellungskette und konkurrierende Nutzungsvarianten diskutiert.

Auch die Möglichkeit der Pflanzen zum Anbau auf Stilllegungsflächen stellte sich als wichtiges Kriterium, vor allem für die Wirtschaftlichkeit des Betriebs, heraus. Dementsprechend fanden bis auf wenige Ausnahmen nur Pflanzen Eingang in die engere Wahl, bei denen ein Anbau auf Stilllegungsflächen zur Energieproduktion erlaubt ist.

Zusätzlich wurden nur Pflanzen aufgenommen, die aufgrund ihrer Inhaltsstoffe den Schluss auf einen besonders hohen Methanertrag zulassen. Dies betrifft im speziellen Kartoffel, Futter- und Zuckerrübe.

Nach einigen Änderungen wurden speziell folgende Arten genauer behandelt:

- Mais, Roggen, Triticale
- Sonnenblume, Raps
- Sojabohne, Lupinen
- Luzerne, Sudangras
- Kartoffel, Zuckerrübe, Futterrübe, Zuckerrübenblatt

Im Laufe des Projekts wurden außerdem noch die als Zwischenfrucht genutzten Leguminosen, Leguminosen-Gräser-Mischungen und Gräser allgemein aufgenommen. Unter der Bezeichnung Leguminosen-Gräser-Mischung finden sich sowohl die Werte für Landsberger Gemenge, als auch für andere Kleegrasmischungen, während unter dem Begriff Gräser im Futterbau verwendete Arten zusammengefasst wurden. Dies erfolgte in Anlehnung an NRC (2001), die in den Futterwerttabellen für Milchvieh diese Gruppen mit der Begründung der geringen Unterschiede in den Inhaltsstoffen ebenfalls zusammenfassten. Eine Ausnahme bildet Weidelgras, dessen Formen Welsches und Deutsches einer gesonderten Wertung unterzogen wurden, da aufgrund der deutlich höheren Zuckergehalte vor allem des Welschen Weidelgrases (*Lolium perenne*) im Vergleich zu anderen Gräsern, eine bessere Eignung erwartet werden konnte.

Da sich die Zusammensetzung der Pflanzen im Laufe der Vegetationsperiode und speziell mit dem Übergang in die generative Entwicklungsphase deutlich ändert, wurden die zur Ganzpflanzensilagebereitung vorgesehenen Körnerfruchtarten in zwei Wachstumsstadien unterteilt. Einerseits wurden Daten der Entwicklung bis zum Ende der Blüte, andererseits vom Beginn der Ausbildung der Speicherorgane bis zur physiologischen Reife zusammengefasst. Bei Getreide und Mais wurde der optimale Erntezeitpunkt mit dem Stadium der Milch-Teigreife festgesetzt, für Raps, Sonnenblume, Sojabohne und Lupine mit dem Ende der Kornfüllung, was gleichzeitig ungefähr dem Stadium höchster Trockenmassebildung entspricht (Diepenbrock et al., 1999).

Für die Gräser und Leguminosenmischungen wurden zunächst Daten für einzelne Arten und mehrere Erntestadien erhoben. Auch die veränderte Zusammensetzung der späteren Schnitte wurde zunächst berücksichtigt. Um einen Vergleich mit den Ergebnissen der Projektpartner zu ermöglichen, wurden die Daten anschließend jedoch zusammengefasst. Dies scheint auch aus der Überlegung heraus gerechtfertigt, dass, werden Pflanzen für die Biogaserzeugung angebaut, wahrscheinlich auch alle Schnitte genutzt werden.

Für *Miscanthus* wurde der Versuch einer Charakterisierung unternommen, allerdings schien die Datenbasis für eine Beurteilung der Eignung zur Biogaserzeugung nicht ausreichend. Die *Miscanthus*-forschung erfolgte weitgehend in Richtung Brennstoffnutzung, wodurch das Datenmaterial sich auf Erntezeitpunkte bezieht, die für die Biogasnutzung ungünstig sind. Aus diesen Gründen wurde *Miscanthus* in der Folge nicht mehr näher betrachtet.

5.5. Charakterisierung der Prozessschritte zur Biogasproduktion und Auswahl der Kenngrößen für die Bewertung

Die Details zu diesem Kapitel sind in Anhang 8 gegeben.

5.6. Modellerstellung zur Bewertung der Biogasproduktion aus Energiepflanzen

Das mathematische Modell zur Bewertung der Eignung ist in Anhang 9 zu finden.

5.7. Bewertungskonzept

5.7.1. Mehrzielplanung

Für die Bewertung der Energiepflanzen wurde vom IAM ein mathematisch-methodisches Hilfsmittel zur Entscheidungsfindung bei komplexen mehrdimensionalen Problemen ausgewählt.

Mit Hilfe dieser Verfahren ist es möglich, die beste Lösung aus einer vorgegebenen Lösungsmenge zu ermitteln bzw. eine Reihung vorher ermittelter Lösungen zu erstellen, wenn widersprüchliche Kriterien vorliegen.

Diese Methode erlaubt außerdem ein Zusammenfügen der von den einzelnen Projektpartnern erarbeiteten Ergebnisse und ermöglicht es, eine Gesamtbewertung der Pflanze in grafischer Form zu zeigen.

Nach Jung (1997) müssen dafür zuerst die Zielsetzungen, Maßeinheiten und Kriterien anhand derer eine Bewertung erfolgen soll, definiert werden. Anschließend erfolgt eine Beschreibung der Handlungsvarianten oder Alternativen. Anhand einer eindeutigen und nachvollziehbaren Bewertungsvorschrift wird dann die Evaluierung der Alternativen durchgeführt, welche zu einer Reihung derselben führt.

Die Bearbeitungsschritte für die Anwendung eines solchen Mehrzielplanungsverfahrens gibt Abbildung 19 wieder:

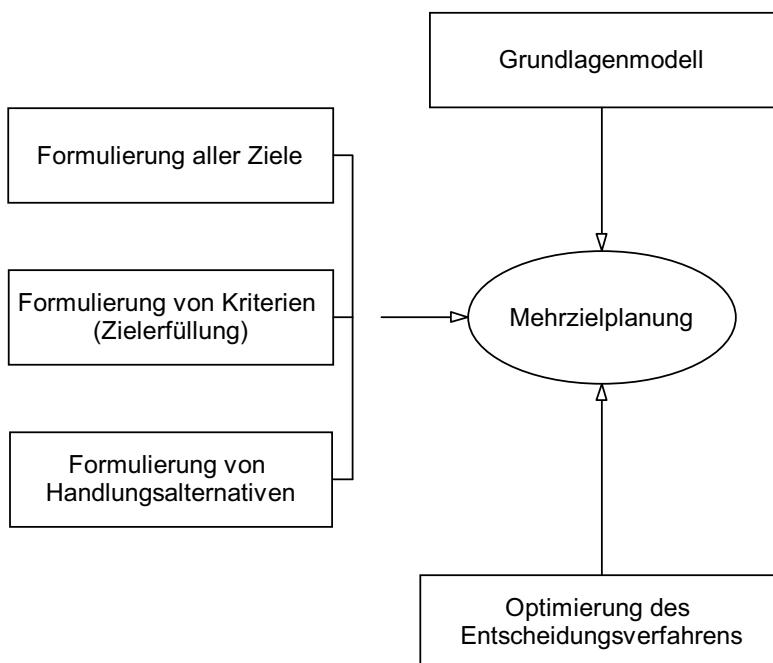


Abbildung 19: notwendige Bearbeitungsschritte für die Erstellung eines Mehrzielplanungskonzepts

Im vorliegenden Projekt sind die möglichen Alternativen durch die ausgewählten Energiepflanzen vorgegeben. Sie stellen die Handlungsvarianten dar, die einer Reihung im Hinblick auf die Eignung zur Biogasgewinnung unterzogen werden sollen.

Dabei zu erfüllende Ziele sollen sein:

- Bestmögliche Eignung der Energiepflanzen für die Vergärung
- ökonomische Effizienz
- ökologische Verträglichkeit
- Akzeptanz

Die Relation zwischen Zielgrößen und Entscheidungsvariablen wird nach Nachtnebel (1988) durch eine oder mehrere Zielfunktionen hergestellt. Sie definieren den möglichen Zielraum, in dem der durch die Restriktionen begrenzte Lösungsbereich liegt. Die Dimensionalität des Entscheidungsraums sowie des Zielraums ist dabei nicht notwendigerweise gleich, da häufig eine Vielzahl von Entscheidungsvariablen identifiziert wird, während meist nur wenige Zielfunktionen vorliegen.

Lösungen, die innerhalb des Zielbereichs liegen, werden als dominierte Lösungen bezeichnet, da zu jeder dieser Alternativen zumindest eine existiert, die im Hinblick auf die Zielsetzungen gleiche oder höhere Zielbeiträge liefert.

Nicht dominiert sind lediglich die Lösungen, die sich auf der Grenzkurve (Transformationskurve, Pareto set) des Zielbereichs befinden. Eine Reihung dieser Alternativen ist nur durch Angabe einer Präferenzstruktur und somit einer Abwägung der Zuwächse in den Zielbeiträgen möglich. Jene Alternativen, die im Hinblick auf zumindest eine Zielsetzung ihren optimalen Wert annehmen, gelten als marginale Lösungen des Mehrzielproblems, die durch Maximierung jeweils einer Zielsetzung zu ermitteln sind.

Betrachtet man die Zielsetzungen im vorliegenden Projekt, so wird deutlich, dass ein direkter Vergleich zwischen ihnen nur schwer möglich und eine Reihung nur durch Angabe einer Präferenzstruktur sinnvoll erfolgen kann. Mit ihr wird das Maß festgelegt für die Bereitschaft, Einbußen bezüglich z.B. der Wirtschaftlichkeit für das Erreichen einer höheren Umweltverträglichkeit der Pflanzenproduktion hinzunehmen.

Für eine objektive Bewertung müssen außerdem die unterschiedlichen Einheiten der einzelnen Bewertungsgrößen auf eine einheitliche Skala transformiert werden.

Für die Lösung solcher mehrdimensionaler Probleme stehen verschiedene Methoden zur Auswahl.

Dabei wird in Methoden ohne a priori Präferenzen, Methoden mit a priori Präferenzen und Methoden mit iterativer Präferenzangabe unterschieden.

Für die Auswahl eines bestimmten Verfahrens stellte Nachtnebel (1988) eine grundlegende Einteilung der Mehrzielplanungsverfahren zusammen, die eine Entscheidung für eine Methode erleichtern soll.

Er ordnet die Entscheidungsunterstützungsverfahren dabei nach

- der Methode: in Entscheidung oder Optimierungsverfahren,
- der Verwendung von unterschiedlichen Skalentypen: in Verfahren mit quantitativen oder qualitativen Kriterien
- der Anforderung an die Präferenzangabe: schrittweise oder einmalig
- dem Vergleich von Alternativen: mit einer Ideallösung, mit anderen Alternativen oder mit Schwellwerten
- den Eigenschaften der Alternativen: diskret oder kontinuierlich
- der Reihung der Alternativen: vollständig oder unvollständig
- den Anforderungen an den Entscheidungsträger

Aus der Vielzahl der Methoden wurde Composite Programming als das den Anforderungen am besten entsprechende Verfahren ausgewählt.

5.7.2. Composite Programming

Composite Programming ist ein Entscheidungsverfahren, das quantitative und in seiner Fuzzy Variante auch qualitative Kriterien zu behandeln vermag, die Alternativen durch einen Vergleich mit einer Ideallösung bewertet und nach Nachtnebel (1988) relativ geringe Anforderungen an den Entscheidungsträger bezüglich der Präferenzangabe stellt.

Die Angabe eines idealen Zielpunktes kann eine solche Präferenzangabe darstellen und verringert den Arbeits- und Rechenaufwand im Vergleich zu einem Verfahren ohne die Angabe eines solchen beträchtlich.

Die Angabe eines Zielpunktes kann entweder über Definition eines

- idealen Zielpunktes und/oder Zustands
- eines Zielpunktes
- oder die Angabe der schlechtesten Lösung

erfolgen.

Die Aufgabe des Bewertungsverfahrens besteht nun darin, mittels eines allgemeinen Distanzmaßes jene Lösungen zu finden, die den vorgegebenen Zielpunkten möglichst nahe kommen, oder aber möglichst weit entfernt von den schlechtesten Lösungen liegen.

Composite programming stellt eine echte Erweiterung der Kompromissprogrammierung dar (Bardossy et al., 1985), womit ausgedrückt werden soll, dass eine durch Kompromissprogrammierung gefundene Lösung auch durch Composite programming zu gewinnen ist. Die Kompromissprogrammierung wiederum entspricht vom Konzept her der Zielprogrammierung, mit dem Unterschied, dass der Idealpunkt außerhalb des realisierbaren Bereichs liegen muss.

Die Ermittlung der nicht dominierten Lösungen erfolgt bei composite programming in einem zwei- oder mehrstufigen Prozess, wobei zuerst eine Abwägung der zu einer Zielfunktion gehörenden Kriterien durchgeführt wird und dann in einem zweiten Schritt die Zielfunktionen untereinander verglichen werden.

Ein komplexes Problem kann somit mittels verschiedener Kriterien und Indikatoren in leichter erfassbare oder verständliche Unterebenen aufgegliedert werden. So kann z.B. die Eignung einer Energiepflanze für den Biogasprozess aufgeteilt werden in Bereitstellung und Lagerung, Methangärung ... Diesen Modulen können wiederum zahlenmäßig erfassbare Indikatoren zur Bewertung zugeordnet werden.

Dabei wird der Zielpunkt aus der Zielprogrammierung dem Idealpunkt gleichgesetzt und stellt somit jene Lösung dar, deren Koordinaten den skalaren Optimierungsergebnissen jeweils einer Zielfunktion entsprechen würden.

Das Distanzmaß entspricht dem allgemeinen Maß der Zielprogrammierung.

Die Zielfunktionen $f_1(x), f_2(x), \dots, f_j(x)$ werden durch mehrere Kriterien erfasst:

$$\begin{array}{ll}
 f_1(x) = & f_{11}(x) & f_2(x) = & f_{12}(x) \\
 & f_{21}(x) & & f_{22}(x) \\
 & f_{31}(x) & & f_{32}(x)
 \end{array}$$

Somit sind im ersten Schritt die Zielfunktionen $f_j(x)$ bei vorgegebenem α_k und p zu minimieren:

$$f_j(x) = \text{Min} \left\{ \left[\sum_k \alpha_{kj}^p \left(\frac{f_{kj}(x) - f_{kj}^*}{f_{kj}^* - f_{kj*}} \right)^p \right]^{1/p} \right\}$$

Durch die Division durch die maximal auftretende Schwankungsbreite, bzw. Differenz zwischen Idealwert und schlechtest möglichem Wert wird eine Transformation auf den Wertebereich zwischen 0 und 1 erreicht.

Sind die verschiedenen Kriterien oder Indikatoren aggregiert, können in einem weiteren Schritt die Zielfunktionen untereinander verglichen werden. Der Benutzer des Tools kann somit zum Beispiel finanzielle Belange im Vergleich zur Eignung oder zu Umweltauswirkungen abwägen.

Dieser Schritt entspricht jenem der Kompromissprogrammierung und vergleicht die Zielsetzungen dann untereinander, wobei folgende „overall“ Zielfunktion zu minimieren ist:

$$F(x) = \text{Min} \left\{ \left[\sum_i \beta_j^q \left| \frac{F_j^* - f_j(x)}{F_j^* - F_{j*}} \right|^q \right]^{1/q} \right\}$$

Die Gewichte α_k und β_j spiegeln die Bedeutung der einzelnen Kriterien bzw. Zielfunktionen in Bezug zur Gesamtbewertung wider, während die Wahl der Exponenten p bzw. q bestimmt, wie stark Abweichungen vom Idealpunkt berücksichtigt werden. Wird der Exponent mit 1 festgelegt, finden alle Abweichungen entsprechend ihrer Größe Eingang, mit 2 liegt ein quadratisches Distanzmaß vor, während für $p = \infty$ jeweils nur die größte Abweichung in die Entscheidungsfindung miteinbezogen wird (Nachtnebel, 1988).

Für umweltbezogene Zielsetzungen ist daher ein $p > 2$ günstig, um dem Minimumfaktor Rechnung zu tragen. Für den Abgleich zwischen verschiedenen Zielsetzungen wird ein Faktor von $p=2$ als sinnvoll erachtet.

Vorteilhaft an dieser Methode erscheint vor allem die stufenweise Aggregation der Kriterien und Zielfunktionen, sowie die anschauliche Darstellungsmöglichkeit und Verständlichkeit der Reihung der Lösungen anhand eines Vergleichs mit dem Idealpunkt.

Außerdem kann mit dieser Methode relativ einfach eine Erweiterung auf zusätzliche zu bewertende Indikatoren oder Ziele erfolgen.

5.7.2.1. Erweiterung auf fuzzy Zahlen

Um der Variabilität der ausgewählten Kenngrößen Rechnung tragen zu können, wurde die auf fuzzy Zahlen erweiterte Form des Entscheidungsverfahrens, Fuzzy Composite Programming (Bardossy et al., 1992; Bogardi, 2004). verwendet. Es wurde in der Form, wie es in Khan et al., (2002) und Sadiq et al., (2005) Anwendung fand, für das vorliegende Projekt adaptiert. Dabei fließen in die Berechnung für die verschiedenen Indikatoren fuzzy Zahlen anstatt crisp numbers ein. Die Erstellung dieser Zahlen wird bei der Zusammenstellung der Daten bzw. unter dem Punkt Berechnungsschritte genauer erläutert.

Die Idealpunkte wurden hingegen, bis auf wenige Ausnahmen, als fixe Zahlen angenommen.

Somit ergibt sich auch als Ergebnis der Bewertung wieder eine fuzzy Zahl, im folgenden Fuzzy Composite Index genannt.

5.7.2.2. Reihung der Fuzzy Composite Indices

Während die Reihung „normaler“ Zahlen keine Schwierigkeiten bereitet, ist dies für fuzzy Zahlen nicht ganz so trivial. Verschiedenste Methoden werden in der Literatur dazu vorgeschlagen, die alle ihre Vor- und Nachteile aufweisen.

Um aus den vielen vorliegenden ranking Methoden für fuzzy Zahlen eine auszuwählen, wurden Kriterien berücksichtigt, die von Zhu und Lee (1992) vorgeschlagen wurden. Sie beinhalten Komplexität, Einfachheit der Interpretation, Robustheit, Flexibilität, und Transitivität.

Die gewählte Methode wird nach einer Formel von Tran und Duckstein (2002) berechnet, bietet eine überschaubare, unkomplizierte Rechenvorschrift und kann einfach programmiert werden. Die Reihung erfolgt hierbei erneut über die Bildung einer gewichteten Distanz zu einem Idealpunkt. Dabei werden Zahlen mit einem höheren Wert der Zugehörigkeitsfunktion stärker gewichtet als jene, die niedrigere Werte aufweisen. Außerdem erfolgt eine absolute Reihung, ein paarweiser Vergleich aller Zahlen ist somit nicht notwendig, was den Berechnungsprozess vereinfacht und Transparenz verleiht (Tran and Duckstein, 2002).

Für den Entscheidungsträger wird die einfache Interpretation des Ergebnisses eines der wichtigsten Kriterien darstellen. Das Konzept, die Reihung über den Abstand zu einem fixen Punkt vorzunehmen, ist leicht verständlich, entspricht außerdem dem grundlegenden Prinzip der Fuzzy Composite Programmierung und erscheint somit als ideale Entsprechung für vorliegendes Problem.

Robustheit nimmt Bezug auf die Eigenschaft, ein konsistentes Ranking für eine Vielzahl von verschiedenen Fällen zu erzielen. Tran and Duckstein verglichen 13 Methoden untereinander und kamen zu dem Schluss, dass nur noch eine andere Reihungsmethode, jene nach Dubois und Prade (1983), in der Lage wäre, verschiedene fuzzy Zahlen robust, folgerichtig und widerspruchsfrei zu unterscheiden.

Bemerkenswert ist, dass hier sowohl fuzzy Zahlen als auch crisp numbers verglichen werden können, was für vorliegendes Projekt von Nutzen ist.

Nach Zhu und Lee (1992) ist Flexibilität die Eigenschaft, mehr als nur einen Index zur Auswahl zu stellen und die Beteiligung des Entscheidungsträgers zu erlauben. Die gewählte Methode bietet dies einerseits durch die Wahl der Distanz zum Minimum oder zum Maximum, wobei diese zwei Indices im Allgemeinen übereinstimmende Lösungen bieten und in den anderen Fällen zweckmäßige Information für den Entscheidungsträger bieten, um zu einer Entscheidung zu gelangen, abhängig von der Einstellung gegenüber Risiko.

Andererseits erlaubt die Gewichtungsfunktion f die Beteiligung des Entscheidungsträgers in flexibler Weise. Während für einen neutralen Entscheidungsträger $f(\alpha) = \alpha$ sinnvoll erscheint, wird ein risikofreudiger Entscheidungsträger eine konstante $f(\alpha) = 1$ oder sogar eine fallende Funktion für f verwenden und so den niedrigen α -levels mehr Gewicht schenken, wohingegen eine dem Risiko abgeneigte Person die höheren α -levels stärker gewichten wird und ein $f(\alpha) = \alpha^2$ oder eine höhere Potenz wählen wird.

Die Fähigkeit, einen widerspruchsfreien Vergleich von mehr als zwei fuzzy Zahlen zu erlauben, wird als Transitivität bezeichnet. Da diese Methode eine Distanzfunktion verwendet, welche die fuzzy Zahlen auf reelle Zahlen abbildet, die linear geordnet werden können, erfüllt sie diese Eigenschaft. Außerdem empfehlen die Autoren die Anwendung dieser Ranking Methode zum Beispiel für die Zielprogrammierung, ein Entscheidungsunterstützungstool, welches dem Composite Programming vom Prinzip her entspricht und eine ähnliche Formel zur Ermittlung der nichtdominierten Lösungen verwendet.

Somit erscheint es gerechtfertigt, die von Bardossy et al., (1992) ursprünglich vorgeschlagene Methode durch diese zu ersetzen.

Die von uns angewandte Transformation des Abstands der fuzzy numbers vom Idealpunkt auf [0,1] bildet den Idealpunkt auf die crisp number $S=0$ ab, womit für die Reihung der fuzzy Zahlen dann das Maß D_{min} als Abstand vom Idealpunkt $Min=0$ sinnvoll erscheint.

Dies wurde somit in das Tool integriert, beste Pflanze ist somit jene, die den kleinsten Index erreicht.

5.7.2.3. Gruppierung der Indikatoren

Für die Bewertung der Eignung der Energiepflanzen wurden die Indikatoren wie folgt gruppiert (Abbildung 20).

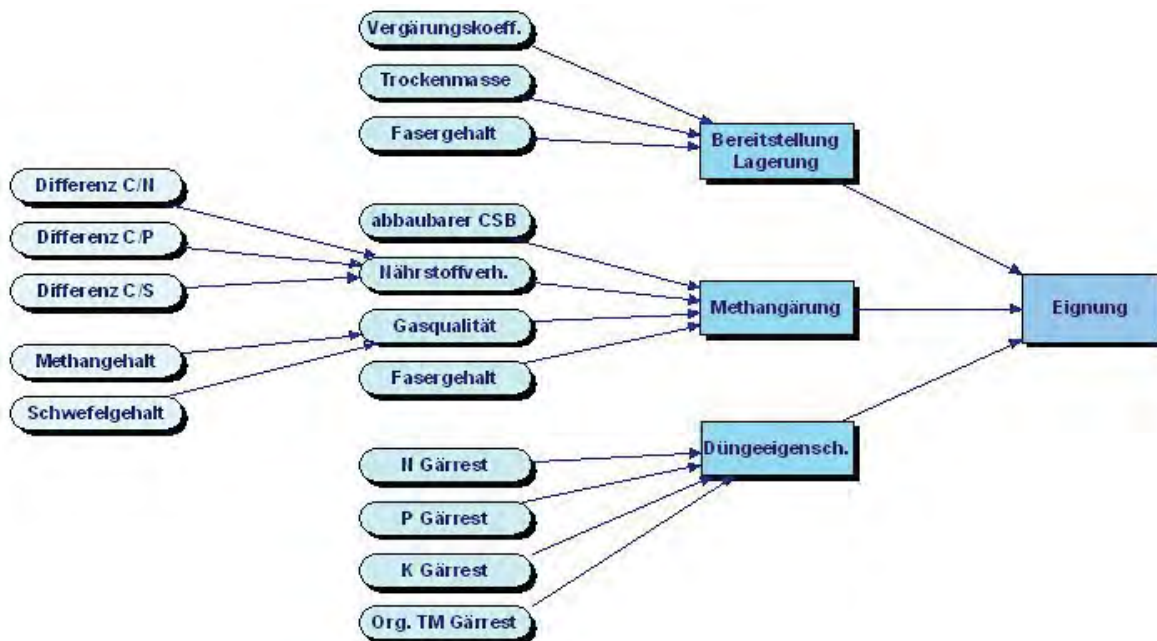


Abbildung 20: Gruppierung der Kenngrößen für die Bewertung der Eignung mittels Fuzzy Composite Programming

Die Details zu den Berechnungsschritten sind in Anhang 10 gegeben.

5.8. Diskussion der Ergebnisse

Für die ausgewählten Pflanzen wurde für die drei Module Bereitstellung und Lagerung, Methangärung sowie Düungeigenschaften jeweils eine Tabelle mit den Bewertungsgrößen erstellt. Die Kenngrößen wurden als trianguläre fuzzy Zahlen erfasst, wobei die linke Spalte einer Kenngröße jeweils die untere Grenze darstellt, die Spitzen den plausibelsten Wert zum idealen Erntezeitpunkt enthält und die rechte Spalte die obere Grenze der Variabilität markiert. Die ausführliche Tabelle findet sich in Brändle (2006).

5.8.1. Bereitstellung und Lagerung

Zur Bewertung der Bereitstellung und Lagerung wurden zwei Szenarien erstellt: Einerseits wurden die Frischpflanzen mit ihrem Trockenmassegehalt direkt nach der Ernte bewertet, andererseits wurde versucht, das Anwelken abzubilden, das sich in höheren Trockenmassegehalten widerspiegelt.

Gleichzeitig wurde dies als Art Verifizierung für das erstellte Rechenmodell verwendet und getestet, ob es in der Lage sein würde, eine solche Verbesserung in der Silierbarkeit auch durch eine bessere Wertung abzubilden.

Aufgrund des deutlich höheren Trockenmassegehalts und der höheren Energiedichte weisen die Körner grundsätzlich andere Eigenschaften auf als die Ganzpflanzen, die zur Silagebereitung geerntet werden.

Eine Bewertung der Körner mit dem gewählten Konzept ist bis auf Getreidekörner und Mais, die auch als Ganzkornsilage konserviert werden können, nicht möglich. Sie erhalten deswegen eine verbale Bewertung.

Im Folgenden werden die einzelnen Einflussgrößen kurz diskutiert:

5.8.1.1. Vergärbarkeitskoeffizient

Der tatsächliche Vergärbarkeitskoeffizient der Pflanzen wurde nach obiger Vorgangsweise mit dem Idealbereich dafür verglichen.

Ohne Anwelken liegen folgende Pflanzen eher im günstigen Bereich und weisen deshalb eine hohe Silierbarkeit auf:

Mais, Roggen und Triticale GPS Milch-Teigreife, Grüntriticale, Sonnenblume in beiden Stadien und die Ganzpflanzen nach abgeschlossener Kornfüllung von Lupine und Sojabohne, sowie Weidelgras und Zuckerrübenblatt, wobei letzteres abhängig ist vom Kopfanteil der Rübe. Weidelgras ist aufgrund seines höheren Zuckergehalts eines der wenigen Gräser, welches daher unter Umständen ohne Anwelken silierbar wäre (Jeroch et al., 1993).

Die anderen Pflanzen, allen voran Raps und Luzerne, sowie die Leguminosen und ihre Mischungen, weisen zu niedrige Vergärungskoeffizienten auf, um eine erfolgreiche Konservierung zu gewährleisten. Auch Grünroggen liegt unter der Grenze von $VK=45$ und etwa im selben Bereich wie die Gräser. Grüntriticale liegt in der Bewertung etwas besser, da es zu einem späteren Zeitpunkt als Roggen geerntet werden kann. Bei Triticale nimmt die Verdaulichkeit mit Einsetzen des Ährenschiebens nicht so schnell ab wie beim Roggen, auch erfolgt die Verholzung nicht ganz so schnell, weswegen in einem Stadium mit etwas höherem TM-Gehalt geerntet werden kann. Zu berücksichtigen ist, dass die Daten für Triticale teils aus Versuchen mit speziell zur Grünfütterproduktion gezüchteten Sorten stammen, die sich in Österreich nicht auf der Sortenliste befinden.

Aufgrund des Berechnungsvorgangs mittels fuzzy Arithmetik weist der Vergärungsquotient eine sehr große Schwankungsbreite auf. Die unteren und oberen Grenzen sind deshalb wirklich als solche aufzufassen. Sie treten nur entweder bei niedrigstem Trockenmassegehalt, niedrigstem Zuckergehalt und höchster Pufferkapazität oder aber bei genau der umgekehrten Kombination auf, was in der Realität nur selten zusammentrifft.

Eine relativ einfache Möglichkeit, die Silierbarkeit zu verbessern, ist das Anwelken des Grüngutes auf dem Feld. Die Feldliegezeit nach dem Schnitt resultiert in höheren TM-Gehalten und dadurch auch höheren Vergärungskoeffizienten. Zusätzlich verändern sich teils die Zuckergehalte in den Gräsern. Während direkt nach dem Schneiden noch ein kurzer Anstieg zu verzeichnen ist, nehmen mit längerer Feldliegezeit die Atmungsverluste zu. Diese Veränderungen im Zuckergehalt sind jedoch schwer zu erfassen und wurden hier nicht berücksichtigt.

Unter der Annahme, dass auf 30 bis 35 % TM angewelkt wird, ergibt sich eine andere Reihung der Pflanzen bezüglich des Vergärungskoeffizienten. Dabei wurde berücksichtigt, dass die Ganzpflanzensilagen von Sonnenblume, Raps und Lupinen auch durch Anwelken nicht auf solch hohe TM-Gehalte

gebracht werden können, da ihr morphologischer Aufbau dies nicht zulässt. Z.B. steht der dicke, stark wasserhältige Stängel der Sonnenblume einem gleichmäßigen Trocknen im Wege, ähnliches gilt für Raps und Lupinen.

Der hohe Vergärungskoeffizient mit Anwelken weist bei Weidelgras auf seine bessere Eignung zur Silierung im Vergleich mit anderen Grünfütterpflanzen hin. Auch die unter dem Begriff Gräser und Leguminosen zusammengefassten Arten sowie deren Mischungen wie Landsberger Gemenge können durch Anwelken in einen Bereich gebracht werden, in dem eine Silierung ohne Siliermittel unter Umständen möglich erscheint.

Nach wie vor eher im niedrigen Bereich des Vergärungskoeffizienten liegen Raps in beiden Stadien und Lupinen vor bis in der Blüte, sowie Luzerne. Der Einsatz von Hilfsmitteln könnte hier die Silierung erleichtern.

Mais wird im Mittelfeld gereiht, weil sein Vergärungskoeffizient bereits sehr hoch liegt. Je nach Erntestadium weist er eher einen Zuckerüberschuss bei nur geringer Pufferkapazität auf, was ihn anfälliger macht für Fehlgärungen und aerobe Umsetzungsprozesse bei Luftzutritt, z.B. beim Öffnen des Silos.

Trockenmassegehalt

Aufgrund des sehr niedrigen TM-Gehalts ist bei Sonnenblume, Raps, und Lupinen jeweils sowohl in der vegetativen als auch in der generativen Form der GPS, Sojabohne im früheren Stadium und beim Zuckerrübenblatt mit relativ hohen Verlusten an Trockenmasse zu rechnen und eine aufwändigere Silobauform notwendig, um ein Auffangen des Sickersaftes zu gewährleisten. Dies kann auch durch Anwelken nicht wesentlich verbessert werden, besonders nicht für die Ganzpflanzen am Ende der Kornfüllung, da durch lange Feldliegezeiten zu große Verluste, vor allem des wertvollen Körnermaterials auftreten.

Besondere Maßnahmen bei der Lagerung erfordern nach dieser Einteilung auch Zuckerrüben und Futterrüben, sollen sie über einen längeren Zeitraum verlustarm konserviert werden.

Die Gräser und Grüngetreidearten weisen teils größere Schwankungsbreiten auf, liegen aber eher im höheren Bereich, vor allem bei der Betrachtung des Szenarios mit Anwelken.

Getreide- und Sojabohnen-Ganzpflanzensilage am Ende der Kornfüllung weisen hohe Trockenmassegehalte auf und können in einfachen Fahrtilos gelagert werden. Triticale bzw. Ganzpflanzensilagen stoßen dabei schon wieder an die obere Grenze, da TM-Gehalte größer 50 % ebenfalls nicht erwünscht sind, um eine ausreichende Verdichtung des Silostocks zu gewährleisten (Knabe et al., 1986).

Fasergehalt

Bei Raps, Sonnenblume, Lupinen aber auch den Getreideganzpflanzen muss bei einer Ernte im Stadium nach abgeschlossener Kornfüllung mit relativ hohen Fasergehalten und Problemen bei der Verdichtung gerechnet werden. Auch die Sojabohne in diesem Stadium und Luzerne weisen relativ hohe Fasergehalte, bezogen auf ihren Trockenmassegehalt, auf. Diese Pflanzen sind, teils in Abhängigkeit von ihrem Wuchstyp, auch aufgrund ihrer Verzweigkeit schwerer zu verdichten als z.B. Gräser. Mais besitzt in unserem Datenmaterial geringere Fasergehalte als z.B. Getreideganzpflanzen und wird daher etwas besser bewertet, vor allem wenn wirklich bereits in der Milchreife oder an ihrem Ende geerntet wird. Der Anteil der Faser an der Gesamttrockenmasse kann allerdings auch über die Schnitthöhe beeinflusst werden. Welche Schnitthöhe verwendet wurde, bzw. wie hoch der Anteil der Restpflanze bei Mais im verwendeten Datenmaterial war, ging aus den Angaben jedoch nicht hervor.

5.8.1.2. Zusammenführende Bewertung der Bereitstellung und Lagerung

Die einzelnen Indikatoren wurden nach eingehender fachlicher Expertendiskussion wie folgt gewichtet:

- Vergärungskoeffizient als Maß für die Silierbarkeit: 0,5
- Fasergehalt als Maß für die Verdichtbarkeit: 0,25
- Trockenmassegehalt als Maß für Verluste: 0,25

Dem Vergärungsquotienten wurde deshalb die größte Wichtigkeit verliehen, da er das Maß für die biologische Durchführbarkeit der Silierung darstellt. Einerseits verknüpft er bereits drei Größen, andererseits hängt der Erfolg der Konservierung und somit die dem Fermenter zuführbare Energie von seiner Größe ab. Er bestimmt auch, inwiefern die Zugabe von Siliermitteln zu empfehlen ist.

Trockenmassegehalt und Fasergehalt wurden mit einem halb so großen Gewicht versehen.

Der Trockenmassegehalt erhielt eine solch hohe Gewichtung, obwohl er bereits im Vergärungskoeffizienten erfasst ist, da er nicht nur die Verluste erfasst, sondern zusätzlich die Aufwändigkeit der Bauform bestimmt.

Die Verdichtung muss gewährleisten, dass kein Luftzutritt zum silierten Material erfolgt bzw. zu Beginn die Luft rasch aus dem Silostock entfernt wird. Kann sie nicht in ausreichendem Maß durchgeführt werden, nimmt die Vergärung trotz guter biochemischer Voraussetzungen nicht den gewünschten Verlauf und die Verluste steigen deutlich an. Auch die nötige Energie zur Verdichtung und der Zeitaufwand dafür steigen mit zunehmendem Fasergehalt, weswegen dem Fasergehalt dieselbe Gewichtung zugeteilt wird wie dem Trockenmassegehalt.

Mit der gewählten Gewichtung ergibt sich folgendes Ergebnis zur Bewertung der Bereitstellung und Lagerung (Abbildung 21).

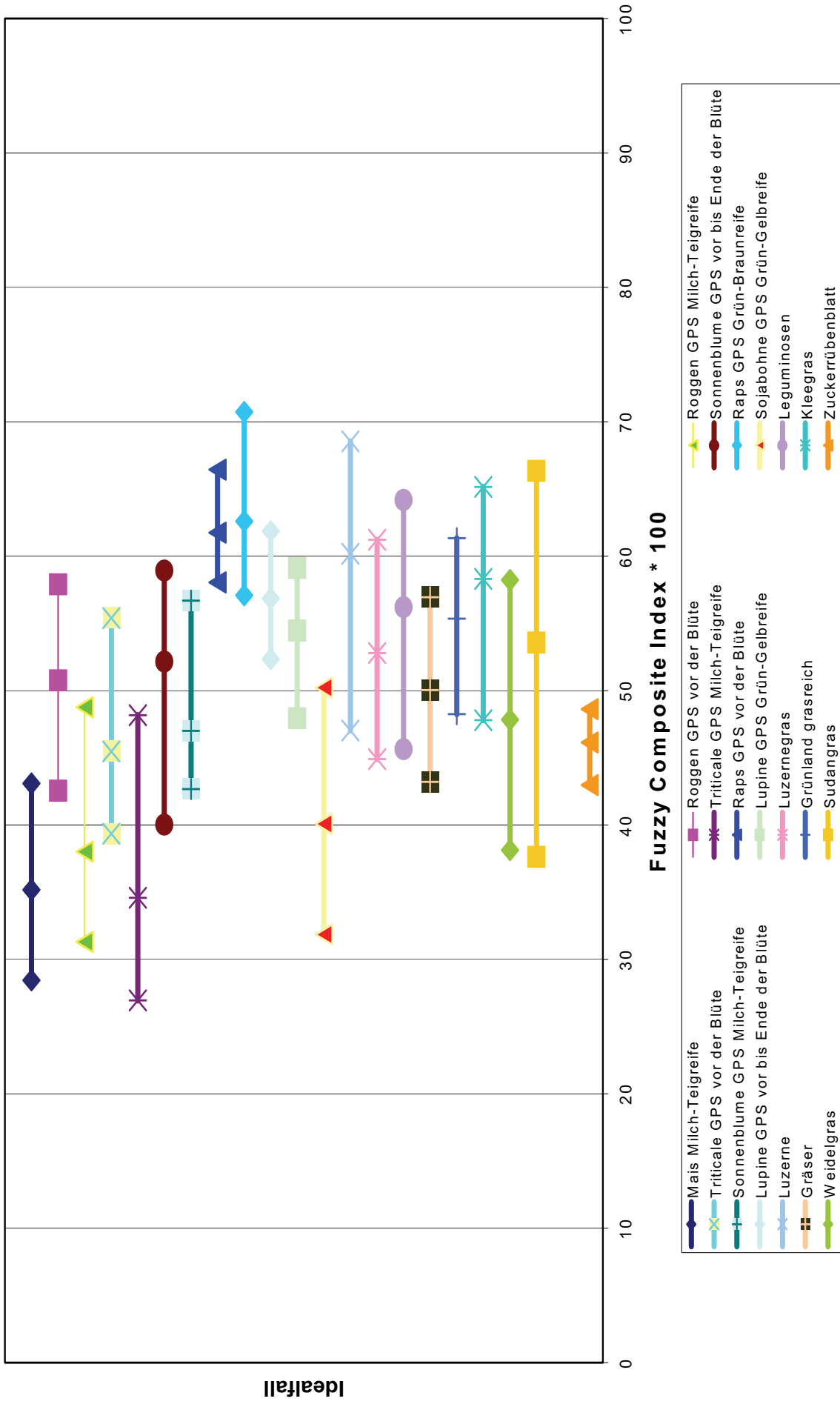


Abbildung 21: Bewertung der Bereitstellung und Lagerung mittels Fuzzy Composite Programming ohne Anwelken

Hierbei bezeichnet 0 den idealen Fall einer Pflanze mit hohem Vergärungskoeffizienten, hohem Trockenmassegehalt und einem vernachlässigbaren Faseranteil. 100 stellt im Gegensatz dazu den schlechtest möglichen Fall dar, also sehr niedriger Vergärungsquotient, sehr niedriger TM Gehalt, aber sehr hoher Fasergehalt. Aufgetragen auf der x-Achse ist somit der Abstand jeder Pflanze zum Idealfall, der je nach Kombination der Einflussgrößen zwischen dem unteren und oberen Datenpunkt einer Linie schwankt und am ehesten den Wert des mittleren Datenpunktes einer Reihe annimmt.

Ersichtlich wird daraus, dass vor allem Ganzpflanzen im Stadium der physiologischen Reife, sowohl bei Getreide, Mais als auch Sojabohne, relativ gut bewertet werden.

Auffallend ist auch, dass keine der Pflanzen wirklich im ausgezeichneten Bereich liegt, was zumindest teils zu erwarten war, da die Zielsetzungen hoher TM Gehalt um Verluste zu vermeiden und niedriger Fasergehalt im Falle von Grobfutterpflanzen kaum miteinander vereinbar sind. Auch liegt keine der Pflanzen wirklich im sehr schlechten Bereich. Versuchsweise wurden Futterrüben und Zuckerrüben mit bewertet, die eine sehr schlechte Bewertung aufgrund ihres hohen Zuckergehaltes und niedrigen TM Gehaltes zur Folge hatten und die Richtigkeit des Modells bestätigen konnten. Sie wurden jedoch nicht weiter mit dem gewählten Konzept betrachtet, da das Modell des Vergärbarkeitskoeffizienten an und für sich nicht für solche Substrate entwickelt wurde und bei der Silierung von Rüben und vor allem Kartoffeln andere Einflussgrößen wichtig werden. Sie würden außerdem den erforderlichen Schwankungsbereich zur Berechnung des VK mehr als verdreifachen wodurch sich die Fuzzy Composite Indices der anderen Pflanzen auf einen kleineren Bereich konzentrieren und eine Bewertung erschweren.

Zu beobachten ist außerdem, dass die Unterschiede zwischen den vegetativen und generativen Wachstumsstadien innerhalb der Art oft größer sind als die Differenz zwischen den verschiedenen Pflanzenarten. Auch dies ist eine Erkenntnis, die in der Literatur ihre Bestätigung findet. Ersichtlich wird auch die Tendenz zum Ausgleich, werden widersprüchliche Ziele wie niedriger Fasergehalt und hohe Trockenmasse formuliert. Dies bewirkt eine Anordnung eher in der Mitte des möglichen Gesamtbereiches, der in der gewählten Darstellung von 0 bis 100 reicht.

Die Reihung der fuzzy composite Indices der Bewertung der Bereitstellung und Lagerung ohne Anwelken mit der Methode nach Tran und Duckstein (2002) ergab das Ergebnis, wie in Tabelle 8 dargestellt.

Tabelle 8: Reihung der Energiepflanzen nach ihrer Eignung zur Bereitstellung und Lagerung, ohne Anwelken

Triticale GPS Milch-Teigreife	45,50
Mais Milch-Teigreife	45,60
Roggen GPS Milch-Teigreife	49,65
Sojabohne GPS Ende der Kornfüllung	52,02
Triticale GPS vor der Blüte	59,22
Zuckerrübenblatt	59,48
Sonnenblume GPS Ende der Kornfüllung	61,40
Weidelgras	61,90
Gräser	64,64
Roggen GPS vor der Blüte	65,42
Sonnenblume GPS vor bis Ende der Blüte	66,70
Sudangras	68,85
Lupine GPS Ende der Kornfüllung	70,10
Leguminosen-Gräser Mischungen gasreich	71,33
Leguminosen	72,27
Lupine GPS vor bis Ende der Blüte	73,46
Leguminosen-Gräser –Gemenge/ Klee gras	74,83
Luzerne	77,11
Raps GPS vor der Blüte	79,85
Raps GPS Ende der Kornfüllung	81,18

Die Eignung nimmt dabei von oben nach unten ab. Je höher die Zahl in der Spalte neben der Pflanze, desto größer ist nach der Reihungsmethode nach Tran und Duckstein (2002) der Abstand zum fiktiven Idealpunkt.

Raps wird am schlechtesten von allen Pflanzen bewertet, was einerseits am niedrigen Trockenmasse- und Zuckergehalt, andererseits an der relativ hohen Pufferkapazität liegt. Dies ist vor allem auch im Stadium der physiologischen Reife der Fall. Anders als bei Getreide, wo über die Bildung der Getreidekörner mit ihrem kohlenhydratreichen Inhalt sowie einen deutlichen Anstieg der Trockenmasse der erhöhte Fasergehalt des späten Erntezeitpunkts ausgeglichen werden kann, ist der Anstieg des TM-Gehalts der Raps Ganzpflanze relativ gering, wird er wirklich zum Zeitpunkt der physiologischen Reife geerntet. Auch befinden sich in den Rapskörnern nur geringe Mengen an Nichtfaserkohlenhydraten, wodurch die Ausbildung der Körner, anders wie bei Getreide und Mais, die Siliereignung nicht verbessern kann. Einer besseren Bewertung der Ganzpflanze nach Ausbildung der Körner steht auch der erhöhte Fasergehalt im Wege, der in Kombination mit einer recht sperrigen Wuchsform die Verdichtung erschwert. Auch die Leguminosen und Lupinen liegen im hinteren Bereich der Eignung, was sich gut mit Angaben in Jeroch et al., (1993); Wilhelm et al., (1999) deckt.

Triticale Ganzpflanzen in der Milch-Teigreife sind nach diesem Bewertungskonzept am besten geeignet, was die Bereitstellung und Lagerung betrifft. Getreideganzpflanzen gelten jedoch nicht als unproblematisch, was die Silierung betrifft, und sollten dafür am besten im Stadium der Milchreife geerntet werden. Hier ist der Gehalt an vergärbaren Zuckern noch höher und die Verholzung nicht so ausgeprägt. Schneider et al., (1991) führten Untersuchungen zur Silierung von Triticale Ganzpflanzen

durch und erreichten nur relativ niedrige Bruttoenergiegehalte, deutlich unter jenen von Mais, und außerdem auch buttersäurehaltige Silagen. Dies ist unter Umständen auf das fehlende Nitrat zurückzuführen, das in gedüngtem Grünfütter immer in geringen Mengen enthalten ist, weswegen diese Einflussgröße bei der Entwicklung des Modells des Vergärungsquotienten nicht speziell Berücksichtigung fand. Auch Richter et al., empfehlen für die Silierung von Getreideganzpflanzen im späten Erntestadium zur sicheren Konservierung den Einsatz von Siliermitteln. Die Gründe für die teils schlechtere Qualität der Silagen sind demnach außerhalb der bewerteten Faktoren zu sehen.

Zu erkennen ist auch, dass die Grüngetreidearten aufgrund ihres niedrigeren TM-Gehalts und auch der höheren Pufferkapazitäten schwieriger zu lagern sind. Die schlechtesten Werte erreichen Grünraps, Lupinen und Sonnenblume, wobei letztere aber aufgrund ihres günstigeren Zuckergehalt:Pufferkapazität-Verhältnisses noch besser bewertet werden als erstere. Auch die kleinsamigen Leguminosen wie Klee und Kleegrass, Luzerne und Mischungen, in die auch das Landsberger Gemenge aufgenommen wurde, werden als eher ungeeignet beurteilt, wobei gut sichtbar wird, dass mit zunehmendem Gehalt an Gräsern die Eignung für die Lagerung ansteigt. Dieser Effekt entsteht, da durch einen höheren Gräseranteil z.B. im Grünland sowohl ein höherer TM Gehalt erreicht werden kann, als auch das ungünstige Z/PK Verhältnis der Leguminosen durch den höheren Zuckergehalt der Gräser mehr in Richtung Zucker verschoben wird. Dies entspricht vielfach publizierten Erkenntnissen (Mc Donald et al., 1993; Wilkinson et al., 2005; Knabe et al., 1986; Jeroch et al., 1993; Wilhelm et al., 1999; ...), und bestätigt, dass das Modell in der Lage ist, mit der eingestellten Gewichtung richtige Aussagen zu treffen.

Die gute Wertung des Weidelgrases trotz seiner nicht allzu hohen Trockenmassegehalte ist auf seine außerordentlich hohen Zuckergehalte zurückzuführen, die es auch ermöglichen, Weidelgras, im speziellen *Lolium multiflorum*, unter Umständen ohne Anwelken einzusilieren (Wilkinson, 2005; Jeroch et al., 1993).

Allerdings erreichen praktisch alle Grünfütterpflanzen bis auf Weidelgras und Triticale vor der Blüte mit ihrer Spitze nicht den Mindestvergärungsquotienten von 45, weswegen ein Szenario mit Anwelken erstellt und bewertet wurde. Da dieses Verfahren in der Grünfüttersilierung gängige Praxis darstellt, wird dieses Szenario auch in der weiteren zusammenführenden Evaluierung verwendet. Tabelle 9 zeigt die Lage der Fuzzy Composite Indices der Abstände zum Idealpunkt, während Abbildung 22 wiederum die Reihung dieser Indices nach Tran und Duckstein (2002) wiedergibt.

Tabelle 9: Reihung der Energiepflanzen nach ihrer Eignung zur Bereitstellung und Lagerung, mit Anwelken und der Bewertung der Körner

MAIS Ganzkornsilage	25,93
ROGGEN Körner	25,93
TRITICALE Körner	25,93
WEIDELGRAS	45,12
TRITICALE GPS Milch-Teigreife	45,50
MAIS GPS Milch-Teigreife	45,60
LEGUMINOSEN	46,52
ROGGEN GPS grün	47,96
GRÜNLAND Welksilage grasreich	48,56
ROGGEN GPS Milch-Teigreife	49,65
TRITICALE GPS grün	50,18
SUDANGRAS	50,78
GRÄSER	50,99
MAIS Korn	51,69
SONNENBLUME Korn	51,69
RAPS Körner	51,69
SOJABOHNE Körner	51,69
SÜßLUPINE Körner	51,69
GELBE SÜßLUPINE Körner	51,69
BLAUE SÜßLUPINE Körner	51,69
WEIßE SÜßLUPINE Körner	51,69
FUTTERRÜBE	51,69
SOJABOHNE GPS Ende der Kornfüllung	52,02
ZUCKERRÜBENBLATT	53,92
LEGUMINOSEN-GRÄSERGEMENGE/ KLEEGRAS	55,85
LUZERNE	56,64
SONNENBLUME GPS vor bis Ende der Blüte	60,35
SONNENBLUME GPS Ende der Kornfüllung	61,15
SÜßLUPINE Ende der Kornfüllung	65,42
SÜßLUPINE GPS vor bis Ende der Blüte	67,56
RAPS GPS vor der Blüte	69,57
RAPS GPS Ende der Kornfüllung	77,48
KARTOFFEL	77,50
ZUCKERRÜBE	77,50

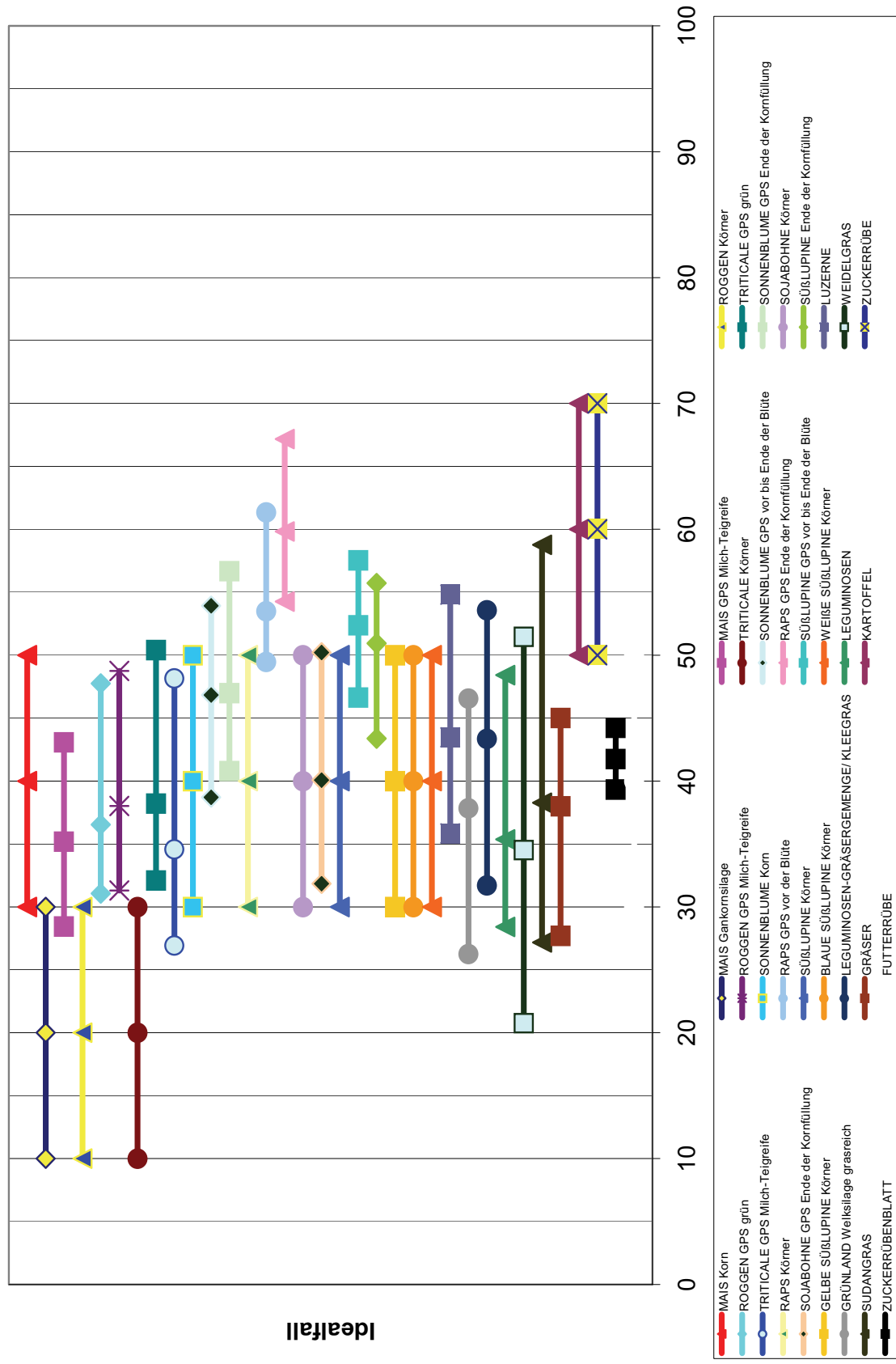


Abbildung 22: Bewertung der Bereitstellung und Lagerung mittels Fuzzy Composite Programming mit Anwelken und der verbalen Bewertung der Körner

Vor allem bei den Gräsern und Leguminosen sieht man hier doch deutliche Steigerungen bezüglich der Eignung. Mit höheren TM-Gehalten wird Weidelgras von den Ganzpflanzen sogar am besten bewertet. Die hohen Schwankungsbreiten hierbei sind nicht unbedingt nur auf schwankende Zucker- und TM-Gehalte zurückzuführen, sondern resultieren vor allem auch aus dem Kompromiss, nur „Weidelgras“ zu bewerten und keine Unterscheidung zwischen Deutschem und Welschem vorzunehmen. Primär scheinen beide für die Biogasgewinnung interessant, weist das Deutsche doch relativ hohe TM-Erträge auf, während das Welsche durch seinen hohen Zuckergehalt deutlich zur besseren Silierbarkeit und zu einem höheren energetischen Wert, z.B. von Leguminosenbeständen beitragen würde. Raps und auch Lupinen können auch durch Anwelken keine besonders große Steigerung der Eignung zur Bereitstellung und Lagerung erreichen, da berücksichtigt wurde, dass diese Pflanzen auch durch Welken nur sehr schwer oder langsam Wasser abgeben. So erreichte z.B. Fraser (2004) sowohl mit weißer als auch blauer Lupine nach 24 h Welkvorgang kaum TM-Werte von mehr als 180 g/kg TM. Genauso berichtet von Schwerin (2000), die Raps Ganzpflanzen im Stadium der physiologischen Reife nach Anwelken (EC 85) silierte, noch von sehr nassen Silagen und Abgabe von großen Mengen an Sickersaft. Dies kann teils auf ein ungünstigeres Verhältnis von Stängel/Blattmasse als bei Gräsern zurückgeführt werden. Der stark wasserhaltige Stängel verhindert auch bei der Sonnenblume ein gleichmäßiges Welken und bewirkt, dass bei der Silierung oft starke Sickersaftbildung auftritt. So berichten z.B. Biogasanlagenbetreiber auf www.schlattmann.at, dass die Silierung von Sonnenblumen auch im Stadium nach Ende der Kornfüllung von hohem Sickersaftabfluss gekennzeichnet war und nur Trockenmassegehalte um 20 % erreicht wurden.

Um nicht leicht abbaubares Substrat für die Biogasanlage zu verlieren und ein Austreten der stark mit organischen Säuren belasteten Sickerwässer zu vermeiden, sollte dieses unbedingt durch geeignete Vorrichtungen aufgefangen werden und dem Fermenter in kleinen Dosen zugegeben werden.

In obiger Darstellung ist weiters bereits die verbale Bewertung der Körner- und Knollenfrüchte inkludiert. Diese wurde nach eingehender Fachdiskussion wie folgt festgelegt (Tabelle 10):

Tabelle 10: verbale Bewertung der Lagerfähigkeit der Körner- und Knollenfrüchte:

	Lagerung und Aufbereitung
Getreide, Mais	einfach
Raps, Sonnenblume,	mit mäßigem Aufwand durchführbar
Sojabohne, Lupinen	mit mäßigem Aufwand durchführbar
Futterrübe	mit mäßigem Aufwand durchführbar
Zuckerrübe	eher schwierig, aufwändig, kostspielig
Kartoffel	eher schwierig, aufwändig, kostspielig

Berücksichtigt wurden dabei die Notwendigkeit eines Trocknungs- und/oder Reinigungsschritts nach der Ernte, Anforderungen an die Form des Lagers bei verlustarmer Lagerung über mehrere Monate, sowie die Notwendigkeit und der Aufwand zur Aufbereitung, um einen möglichst hohen Abbaugrad im Fermenter zu erreichen.

Dabei werden die verbalen Ausdrücke nach folgendem Schema als fuzzy Zahlen umgesetzt (Abbildung 23):

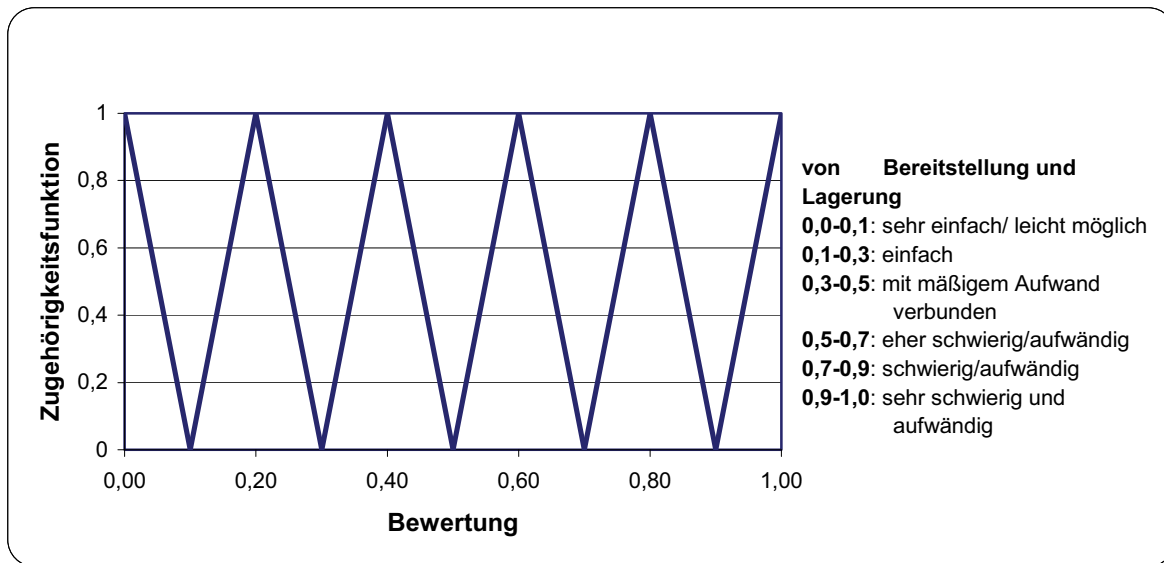


Abbildung 23: Verbales Bewertungsschema für die Bereitstellung und Lagerung der Körnerfrüchte. Eine ausführliche Begründung der gewählten Bewertung findet sich in Brändle (2006).

5.8.2. Eignung für die Methangärung

Die für die Bewertung der Methangärung herangezogene Zusammensetzung der Pflanzen beinhaltet die Hauptnährstoffe Rohprotein und Rohfett sowie die Strukturkohlenhydrate und die Anteile an organischer Substanz und Rohaschen an der Gesamttrockenmasse, sowie den Trockenmassegehalt der Frischpflanzen. Aus diesen Größen und der Annahme eines abbaubaren Anteils wurden, wie oben bereits ausführlich besprochen, die Eingangsgrößen für das Fuzzy Composite Programming der Eignung zur Methangärung berechnet.

Wieder ist auf die teils unzureichende heimische Datenlage für Ganzpflanzensilagen im Stadium der Milch-Teigreife bzw. nach Ende der Kornfüllung hinzuweisen. Obwohl die errechneten Größen von chemischem Sauerstoffbedarf (CSB) und Gaserträgen gute Übereinstimmung mit zusammengestellten Messwerten lieferten, sollten sie daher nicht als Grundlage für Planung und Bemessung einer Biogasanlage herangezogen werden. Dafür sind jedenfalls eigene Untersuchungen bezüglich Methanausbeute und Vergärbarkeit durchzuführen.

5.8.2.1. Abbaubarer CSB

Er beschreibt die Energiekonzentration des Substrats und sollte somit möglichst hoch sein, um hohe Methanausbeuten erzielen zu können. Um einen stabilen Prozess zu erreichen und einer Versäuerung vorzubeugen, ist allerdings die Zugabe bei Energiepflanzen auf ungefähr 3 kg CSB/m³ Fermentervolumen zu begrenzen und darauf zu achten, dass das Verhältnis von schnell zu langsam abbaubarem CSB nicht zu hoch wird.

Bezogen auf die Trockenmasse sind die Unterschiede in den CSB-Gehalten der betrachteten Energiepflanzen nicht gravierend. Die höchsten Werte weisen die Körner auf, wobei die Ölsamen aufgrund ihres Fettgehalts deutlich herausstechen, gefolgt von den Proteinpflanzenarten Sojabohne und Süßlupine. Getreide und Mais liegen im Bereich der Süßlupinen oder etwas darunter, mit Werten von ungefähr 900 bis 1100 g O₂ *(kg TM)⁻¹, womit sie in etwa im Bereich der Knollenfrüchte Zuckerrübe, Futterrübe und Kartoffel liegen.

Bei den Ganzpflanzensilagen der Körnerfrüchte liegen überraschenderweise die CSB-Werte sowohl vor der Ausbildung der Körner als auch in der physiologischen Reife im selben Bereich. Die Kornfüll-

lung kann somit die Zunahme der als nicht abbaubar eingestuftes Faserfraktion nicht ausgleichen. Bezogen auf die Trockenmasse liegen sowohl die Silagen der Gräser, Leguminosen und ihrer Mischungen, als auch die Ganzpflanzensilagen der Körnerfrüchte im selben Bereich des abbaubaren CSB mit einem plausibelsten Wert um $800 \text{ bis } 900 \text{ g O}_2 \cdot (\text{kg TM})^{-1}$.

Betrachtet man das Verhältnis von schnell zu langsam abbaubarem CSB, so sind vor allem bei Zuckerrübe und auch Futterrübe besondere Maßnahmen zu treffen, um einen stabilen Gärprozess zu erreichen. Auch Kartoffel, Mais und Getreidekörner besitzen ein hohes Verhältnis, wobei Stärke doch etwas langsamer abgebaut wird als die Zucker.

Zu beachten ist, dass bei den Silagen bereits eine gewisse Menge an sehr schnell abbaubarem CSB über die bei der Milchsäuregärung entstandenen Säuren eingetragen wird, und unter Umständen eine Beschränkung der Raumbelastung nicht ausreicht, sondern zusätzlich puffernde Maßnahmen erforderlich sind, um eine Übersäuerung des Reaktors zu vermeiden.

Betrachtet man den Energiegehalt bezogen auf die Frischmasse, spreizt sich der Schwankungsbereich des chemischen Sauerstoffbedarfs deutlich. Die Silagen mit ihrem niedrigen Trockenmassegehalt weisen deutlich geringere Werte auf als die Körnerfrüchte, deren Wert sich aufgrund des niedrigen Wassergehaltes im Vergleich zur Betrachtungsweise bezogen auf Trockenmasse kaum ändert. Eine Einteilung nach dem CSB-Gehalt je kg Frischmasse kann wie in Tabelle 11 dargestellt vorgenommen werden.

Tabelle 11: Bewertung des Energiegehalts je kg Frischmasse

CSB hoch bis sehr hoch	CSB im mittleren Bereich	CSB niedrig bis sehr niedrig
Sonnenblumen Samen	Luzerne, Gräser, Grünland, Gras-Leguminosen Mischungen	Sonnenblume, Lupine GPS, beide Stadien
Raps Samen	Getreide, Mais GPS beide Stadien	Raps GPS vor der Blüte
Getreidekörner, Mais, Lupinen	Raps, Sojabohne GPS nach Ende Kornfüllung	Zuckerrübenblatt
	Kartoffel, Zuckerrübe	Futterrübe, Kartoffel

Zu beachten ist jedoch, dass die Nassvergärung einen Trockenmassegehalt unter 13–15% der Frischmasse verlangt, und hochkonzentrierte Substrate wie Körnerfrüchte nur in geringen Dosen oder verdünnt zugegeben werden können, um eine problemlose Vergärung zu gewährleisten. Die Einstellung des richtigen TM-Gehalts kann einerseits durch Zirkulation des Gärsubstrats erfolgen, wobei die Anreicherung mit Ammonium-Stickstoff zu einem begrenzenden Faktor werden kann, andererseits kann Gülle oder unter Umständen Wasser zugegeben werden. Insofern ist die Betrachtung bezogen auf die Frischmasse irreführend, da sie den Körnern eine deutlich bessere Wertung verleiht, ein Gärprozess nur mit diesem Substrat allein jedoch wohl kaum erfolgreich verläuft.

Im Weiteren werden deswegen hauptsächlich die Ergebnisse bezogen auf Trockenmasse diskutiert.

5.8.2.2. Nährstoffverhältnis

Da die Nährstoffgehalte der Pflanzen immer von der Art und Versorgung des Bodens und der erfolgten Düngung beeinflusst sind, können die erhobenen Zahlenwerte nur Anhaltspunkte für eine Bewertung bieten. Vor allem die Gehalte an Schwefel unterliegen größeren Unsicherheiten und sollten daher genauer überprüft werden, da für Österreich noch kaum Analysen für Schwefelgehalte in Grundfut-

ermitteln vorliegen (Wiedner, 2005). Sie wurden deswegen anderen Literaturquellen entnommen und spiegeln weder heimische Bodenverhältnisse noch heimische Düngepraxis wider. Über die Angabe der Schwankungsbreite und Evaluierung derselben wird jedoch versucht, möglichst den gesamten Spielraum zu erfassen.

Ausgehend von einem idealen Nährstoffverhältnis von C:N:P:S können die Pflanzen dabei nach dem Abstand zum optimalen Nährstoffverhältnis folgendermaßen eingeteilt werden (Tabelle 12): Durch Ermittlung eines fuzzy Distanzmaßes wurden jeweils die Schwankungsbreiten der Gehalte an Kohlenstoff und Stickstoff berücksichtigt.

Tabelle 12: Differenz des optimalen Kohlenstoff-Stickstoffverhältnisses zum Kohlenstoff-Stickstoffverhältnis der jeweiligen Pflanzenart (berechnet nach Tran und Duckstein, 2002):

C/N opt. -C/N tatsächlich klein	C/N opt. -C/N tatsächlich mittel	C/N opt. -C/N tatsächlich eher groß
Mais Korn, Ganzkornsilage, GPS	Roggen, Triticale GPS im Schossen,	Sojabohne Körner
Roggen, Triticale Korn	Roggen GPS Milch-Teigreife	Lupine Körner
Triticale Milch-Teigreife	Raps, Sonnenblume Körner	Lupine GPS beide Stadien
	Raps, Sonnenblume GPS vor bis in der Blüte, Sonnenblume GPS nach Ende der Kornfüllung	Leguminosensilage
Sonnenblume vor der Blüte	Sojabohne GPS Ende der Kornfüllung	Zuckerrübe
Raps GPS Ende der Kornfüllung	Luzerne, Gräser-Leguminosen Mischungen, Klee gras, Landsberger Gemenge	
Sudangras	Grünland grasreich	
Kartoffel	Gräser	
Futtermübe	Weidelgras	
	Zuckerrübenblatt	

Dabei ist zu beachten, dass bei den Proteinpflanzen Sojabohne und Süßlupine ein Überschuss an Stickstoff den großen Abstand zum Idealpunkt begründet, während bei den stark kohlenhydrathaltigen Pflanzenarten wie der Zuckerrübe ein Überangebot an Kohlenstoff vorherrscht, der ohne den fehlenden Stickstoff nicht abgebaut werden kann. So sind zwar Zuckerrübe und die Körner der Süßlupine beide durch einen großen Abstand zum idealen Wert gekennzeichnet, jedoch aus unterschiedlichen Gründen.

Auch für das Kohlenstoff-Phosphorverhältnis kann eine solche Einteilung vorgenommen werden (Tabelle 13).

Tabelle 13: Differenz des optimalen Kohlenstoff-Phosphorverhältnisses zum Kohlenstoff-Phosphorverhältnis der jeweiligen Pflanzenart (berechnet nach Tran und Duckstein, 2002):

C/P opt - C/P tatsächlich klein	C/P opt - C/P tatsächlich mittel	C/P opt - C/P tatsächlich groß
Raps Körner	Roggen, Triticale GPS beide Stadien	Mais Korn, Ganzkornsilage, Ganzpflanze
Sojabohne Körner	Sonnenblume Samen, GPS beide Stadien	Sudangras
Gelbe Süßlupine Körner	Raps GPS beide Stadien	Kartoffel
	Sojabohne Ende der Kornfüllung	Zuckerrübe
	Lupine GPS beide Stadien	Zuckerrübenblatt
	Lupine weiß und blau, Körner	Futterrübe
	Luzerne	
	Grünland grasreich, Gräser-Leguminosen Mischungen	
	Gräser, Weidelgras	

Dabei tritt, im Unterschied zum Kohlenstoff-Stickstoffverhältnis, bei allen betrachteten Pflanzen ein Phosphordefizit auf, das mehr oder weniger groß ist. Auffallend ist, dass Mais sehr stark davon betroffen ist und das höchste Defizit der betrachteten Pflanzen aufweist. Eine Zugabe von Phosphor könnte sich somit eventuell positiv auf den Stoffwechsel der Bakterien auswirken.

Für das Kohlenstoff-Schwefelverhältnis kann anhand der vorliegenden Gehalte folgende Einteilung getroffen werden (Tabelle 14).

Tabelle 14: Differenz des optimalen Kohlenstoff-Schwefelverhältnisses zum Kohlenstoff-Schwefelverhältnis der jeweiligen Pflanzenart (berechnet nach Tran und Duckstein, 2002):

C/S opt. - C/S tatsächlich klein	C/S opt. - C/S tatsächlich mittel	C/S opt - C/S tatsächlich groß
Sonnenblume GPS beide Stadien	Roggen, Triticale GPS beide Stadien	Mais Korn, Ganzkornsilage, GPS
Raps GPS beide Stadien	Raps Körner	Roggen, Triticale Körner
Gelbe, Weiße Süßlupine Körner	Sojabohne GPS und Körner	Sonnenblume Samen
Luzerne	Süßlupine Körner, GPS beide Stadien	Weidelgras
Grünland grasreich	Leguminosen	Sudangras
Gräser-Leguminosen Mischungen, Klee gras, Landsberger Gemenge	Gräser	
Zuckerrübenblatt	Kartoffel	
Futterrübe	Zuckerrübe	

Auffallend ist, dass bei fast allen Pflanzen, außer in den unteren Schwankungsbreiten der Leguminosen und ihrer Mischungen mit Gräsern, ein Defizit an Schwefel festzustellen ist, während die Raps-Ganzpflanzensilagen einen deutlichen Überschuss an Schwefel aufweisen. Ob dieser bereits so hoch

ist, dass eine Hemmung durch zu hohe Schwefelwasserstoffkonzentrationen eintritt, kann nicht beurteilt werden. Jedenfalls ist jedoch daher bei Zugabe von Raps Ganzpflanzensilagen mit erhöhten Schwefelwasserstoffgehalten im Biogas zu rechnen (Ahrens, 2003). Mais besitzt im Gegensatz dazu besonders wenig Schwefel im Vergleich zu seinem hohen Kohlenstoffgehalt und weist den größten Abstand zum idealen Verhältnis aller betrachteten Pflanzen auf.

In weiterer Folge wurden die Verhältnisse der einzelnen Nährstoffe zu einem Composite Index Nährstoffverhältnis zusammengefasst.

Dabei wurde folgende Gewichtung gewählt:

- Differenz Kohlenstoff/Stickstoff ideal – Kohlenstoff/Stickstoff tatsächlich: 0,5
- Differenz Kohlenstoff/Phosphor ideal – Kohlenstoff/Phosphor tatsächlich: 0,25
- Differenz Kohlenstoff/Schwefel ideal – Kohlenstoff/Schwefel tatsächlich: 0,25

Das Kohlenstoff/Stickstoffverhältnis wird aufgrund seiner zusätzlichen Wirkung auf das Puffersystem des Biogasreaktors höher bewertet als die Verhältnisse der anderen Nährstoffe. Einerseits soll es im optimalen Bereich liegen, um die Pufferung des Systems zu unterstützen, andererseits soll es nicht zu hoch liegen, um einer Hemmung durch Ammoniakstickstoff vorzubeugen.

Schwefel stellt zwar ein sehr wichtiges Kriterium für die Nährstoffversorgung dar, wirkt jedoch in höheren Mengen in der Form des undissoziierten Schwefelwasserstoffs auch toxisch und zeigt außerdem für die hohe Korrosionswirkung des Biogases verantwortlich, weswegen dieses Verhältnis nicht so hoch gewichtet wurde wie jenes von Kohlenstoff/ Stickstoff. Außerdem soll die niedrigere Gewichtung die schlechtere Datenlage für den Schwefelgehalt reflektieren.

Mit der gewählten Gewichtung kann folgende Einteilung bezüglich des Nährstoffverhältnisses der Energiepflanzen getroffen werden (Tabelle 15).

Tabelle 15: Bewertung Composite Index Nährstoffverhältnis

Nährstoffverhältnis günstig	Nährstoffverhältnis mittel	Nährstoffverhältnis eher ungünstig
Triticale Milch-Teigreife	Roggen, Triticale Körner	Mais Korn, Ganzkornsilage, GPS
Sonnenblume GPS beide Stadien	Roggen, Triticale GPS vegetativ	Sojabohne Körner
Raps GPS Ende der Kornfüllung	Roggen GPS Milch-Teigreife	Süßlupinen Körner, GPS beide Stadien
	Sonnenblume Körner	Zuckerrübe
	Raps Körner, GPS vor der Blüte	
	Sojabohne GPS	
	Luzerne,	
	Grünland grasreich	
	Gräser-Leguminosen-Mischungen, Klee gras, Landsberger Gemenge	
	Weidelgras, Sudangras	
	Gräser	
	Kartoffel	

	Futtermübe und Zuckerrübenblatt Silage	
--	--	--

5.8.2.3. Fasergehalt

Bezogen auf die Trockenmasse lässt sich anhand der ermittelten Zahlenwerte für die Analysegröße ADF (Acid Detergent Fibre) folgende Einteilung der ausgewählten Pflanzen treffen (Tabelle 16).

Tabelle 16: verbale Bewertung des Fasergehaltes der ausgewählten Energiepflanzen:

Fasergehalt sehr niedrig	Fasergehalt niedrig	Fasergehalt mittel	Fasergehalt hoch
Mais Korn, Ganzkornsilage	Sonnenblume Samen	Sonnenblume GPS vor bis Ende der Blüte	Mais GPS
Roggen, Triticale Korn	Raps Körner	Raps GPS vor bis Ende der Blüte	Roggen Triticale GPS beide Stadien
Sojabohne Körner	Süßlupinen Körner	Lupine GPS vor bis Ende der Blüte	Sonnenblume GPS Ende der Kornfüllung
Kartoffel	Zuckerrübenblattsilage		Raps GPS Ende der Kornfüllung
Zuckerrübe			Sojabohne, Lupine GPS Ende der Kornfüllung
Futtermübe			Luzerne
			Gräser
			Gräser-Leguminosen-Mischungen (Klee-gras, Landsberger Gemenge)
			Sudangras
			Weidelgras

Zu beachten ist, dass die oberen Schwankungsbreiten der hier als mittel eingestuften Pflanzen teils bereits deutlich im hohen Bereich liegen, beziehungsweise die unteren Schwankungsbreiten der als hoch eingestuften eher dem mittleren Fasergehalt zuzuordnen wären. Da mit Fuzzy Composite Programming die Schwankungsbreiten im Ergebnis jedoch ohnehin berücksichtigt werden, wird hier nicht näher darauf eingegangen.

5.8.2.4. Gasqualität

Der Methangehalt wurde aus den berechneten Gas- und Methanerträgen abgeleitet, um eine Vergleichbarkeit der Ergebnisse zu gewährleisten.

Die Unterschiede zwischen den Energiepflanzen sind gering, generell liegen alle Werte mit Ausnahme der Ölsamen zwischen 50 und 60%. Im Vergleich liegen die Pflanzen mit höheren Proteinanteilen etwas höher als jene, die zum Großteil Kohlenhydrate speichern. Über 60 % Methangehalt erreichen mit dieser Berechnung die Achänen der Sonnenblume, sowie die Körner von Raps und Sojabohne. In der Praxis sind diese theoretischen Gaserträge aber zweifelhaft.

Bei den Schwefelgehalten stechen besonders die Ganzpflanzensilagen von Raps hervor, die mit 5–6 g * (kg TM)⁻¹ deutlich höher liegen als alle anderen Pflanzen. Insgesamt sind die Unterschiede zwi-

schen den betrachteten Pflanzenarten ansonsten ebenfalls eher gering, besonders wenn die Schwankungsbreiten der Gehalte Berücksichtigung finden.

Die beiden Kenngrößen Schwefelgehalt und Methangehalt wurden zu einem Indikator Gasqualität zusammengefasst. Dabei wurden beide Größen mit 0,5 gleich gewichtet.

Auf eine höhere Gewichtung des Methangehalts wurde verzichtet, da er eine rein rechnerisch ermittelte Größe darstellt und nicht gesichert ist, ob die fetthaltigen Ölsamen wirklich solch hohe Methangehalte liefern. Die niedrige Gewichtung spiegelt also auch die Unsicherheit in der Datengrundlage wider.

Eine gute Wertung bezüglich des Indikators Gasqualität erhalten hierbei die Samen von Sonnenblume, Raps, Sojabohnen und Lupinen, sowie die Ganzpflanzensilagen am Ende der Kornfüllung von Sonnenblume und Sojabohne.

Im mittleren Bereich liegen die vegetativen Ganzpflanzensilagen von Triticale und Roggen, die Ganzpflanzensilagen von Lupinen in beiden Stadien und die Silagen von Luzerne, Weidelgras und Gräsern allgemein.

Alle anderen betrachteten Energiepflanzen liegen nicht im optimalen Bereich, wobei vor allem die Ganzpflanzensilagen von Raps aufgrund der Kombination aus mittlerem Methangehalt und sehr hohem Schwefelgehalt besonders schlecht bewertet werden. Tabelle 17 zeigt die verbale Bewertung der errechneten Indices.

Tabelle 17: Bewertung des Fuzzy Index Gasqualität

Gasqualität hoch	Gasqualität mittel	Gasqualität niedrig
Sonnenblume Achänen, GPS Ende der Kornfüllung	Roggen, Triticale GPS vegetativ	Mais Korn, Ganzkornsilage, GPS
Raps Körner	Lupinen GPS beide Stadien	Roggen, Triticale Korn
Sojabohne Körner und GPS	Luzerne Silage	Roggen, Triticale GPS Milch-Teigreife
Süßlupinen Körner	Weidelgras	Sonnenblume GPS vor bis Ende der Blüte
	Gräser	Raps GPS beide Stadien
		Grünland grasreich
		Gräser-Leguminosen Mischungen
		Sudangras
		Kartoffel
		Zuckerrübe und Zuckerrübenblattsilage
		Futterrübe

5.8.2.5. Zusammenfassende Bewertung Methangärung

Die einzelnen Indikatoren des Moduls Methangärung wurden wie folgt gewichtet und damit ein Fuzzy Composite Index für Methangärung für jede Pflanze berechnet.

- Abbaubarer CSB: 0,35
- Index Nährstoffverhältnis: 0,35
- Index Gasqualität: 0,1
- Fasergehalt (ADF): 0,35

Das Gewicht des Index Nährstoffverhältnis wurde jenem des abbaubaren CSB gleichgesetzt, da dieser zwar das Substrat der Bakterien bereitstellt und somit das Hauptkriterium für den potenziellen Methanertrag darstellt, Bakterienbiomasse oder Energiestoffwechsel aber nicht ohne die benötigten Nährstoffe erfolgen können.

Die niedrige Bewertung der Gasqualität berücksichtigt die Unsicherheiten in der Datenlage und die relativ geringen Unterschiede der Pflanzen untereinander.

Da außerdem der Methanertrag eine Größe darstellt, die vor allem auf die Wirtschaftlichkeit einen entscheidenden Einfluss ausübt, wird er in der Wirtschaftlichkeit als Methanhektar- oder Energieertrag erfasst und würde ansonsten doppelt bewertet.

Der Fasergehalt, hier durch die Größe ADF (Acid Detergent Fibre) der Silagen und Körner bewertet, beeinflusst neben der Abbaubarkeit vor allem das verfahrenstechnische Verhalten des Substrats. Einerseits stellt faserreiches Substrat höhere Anforderungen an die Rührtechnik sowie an die Pump- und Zerkleinerungsaggregate, andererseits wird der biologische Abbau erschwert oder verlangsamt, da die Hydrolyse der Cellulose den geschwindigkeitsbestimmenden Schritt darstellt (Chynoweth et al., 1987, Bischofberger et al., 2005; Hobson et al., 1993). Auch Probleme mit Schwimmdeckenbildung treten häufig auf. Da das mechanische Verhalten jedoch durch eine Vorbehandlung verbessert werden kann, geht der Fasergehalt mit einem geringeren Gewicht ein als Nährstoffverhältnis und CSB, wird jedoch höher bewertet als die Gasqualität, da eine Verbesserung des Verhaltens mit Energieaufwand verbunden ist.

Die Reihung nach Tran und Duckstein (2002) führt zu folgendem Ergebnis, wobei die Eignung der Pflanzen wiederum von oben nach unten abnimmt (Tabelle 18).

Tabelle 18: Reihung der Fuzzy Composite Indices für die Methangärung, bezogen auf Trockenmasse, nach Tran und Duckstein (2002)

RAPS Körner	34,56	BLAUE SÜßLUPINE Körner	65,39
SONNENBLUME Korn	36,55	SÜßLUPINE Körner	65,47
TRITICALE Körner	55,47	SONNENBLUME GPS vor bis Ende der Blüte	66,90
ROGGEN Körner	55,72	ROGGEN GPS grün	67,34
SOJABOHNE Körner	56,16	WEIDELGRAS	67,84
KARTOFFEL	56,28	GELBE SÜßLUPINE Körner	68,30
MAIS Korn	56,75	SONNENBLUME GPS Ende der Kornfüllung	68,38
FUTTERRÜBE	59,03	GRÜNLAND Welksilage grasreich	68,59
WEIßE SÜßLUPINE Körner	63,14	GRÄSER	68,83
ZUCKERRÜBENBLATT	64,16	ROGGEN GPS Milch-Teigreife	68,85
MAIS Ganzkornsilage	64,69		

TRITICALE GPS Milch-Teigreife	69,24	KLEEGRAS	
TRITICALE GPS grün	69,39	LUZERNE	72,36
RAPS GPS Ende der Kornfüllung	69,93	SUDANGRAS	72,78
RAPS GPS vor der Blüte	70,39	LEGUMINOSEN	73,16
SOJABOHNE GPS Ende der Kornfüllung	71,50	SÜßLUPINE GPS vor bis Ende der Blüte	73,49
MAIS GPS Milch-Teigreife	71,75	SÜßLUPINE Ende der Kornfüllung	75,19
ZUCKERRÜBE	72,20		
GRÜNLAND Welksilage kleereich/	72,22		

Aufgrund der hohen Energiedichte und des teils günstigen Nährstoffverhältnisses werden durchwegs die Körner und Knollen, mit Ausnahme der Zuckerrübe, zu Beginn gereiht und ihnen eine höhere Eignung zugeordnet. Von den Ganzpflanzensilagen wird mit den gewählten Bewertungskriterien der Sonnenblume vor der Blüte, Roggen im vegetativen Stadium und den Gräsern, allen voran dem Weidelgras, die beste Eignung zugeschrieben. Mais, vor allem die Ganzpflanzensilage wird relativ weit nach hinten gereiht, was teils am ungünstigen Nährstoffverhältnis liegt. Dies gibt bereits einen Hinweis darauf, dass in der Praxis andere Faktoren, vor allem die Wirtschaftlichkeit und den Standort betreffende, ausschlaggebend sein werden für die Wahl einer Energiepflanze zur Vergärung.

Allerdings wird durch die grafische Darstellung der fuzzy Composite Indices auch deutlich, dass die Unterschiede der einzelnen Pflanzenarten, mit Ausnahme der Körner, nicht wirklich groß sind.

Abbildung 24 zeigt diese fuzzy Indices für die Methangärung, bezogen auf Trockenmasse:

Bis auf die beiden ölhältigen Samen liegen alle Werte im Bereich zwischen 35 und 70, was auf eher geringe Unterschiede in der Eignung zur Methangärung hindeutet, wenn die Einflussgrößen kombiniert betrachtet werden. Keine der betrachteten Energiepflanzen mit Ausnahme der Samen und Körner von Sonnenblume, Raps, Sojabohne erhält eine wirklich ausgezeichnete Bewertung. Dies zeigt die Kompensation zwischen widersprüchlichen Bewertungskriterien, die durch Composite Programming erfolgt. Inwieweit jedoch speziell mit den Körnern der Ölpflanzen in der Praxis wirklich ein stabiler Gärprozess erreicht werden kann, ist fraglich. Jedenfalls scheinen zumindest eine Aufbereitung (Zerkleinerung) und lange Aufenthaltszeiten nötig, um den hohen Fettgehalt auch in Methan umsetzen zu können.

Vor allem für die Ganzpflanzensilagen ergeben sich bei einer Zusammenführung der gewählten Kenngrößen kaum signifikante Unterschiede. Auch die Ganzpflanzensilage der Sonnenblume, von der aufgrund des höheren Fettgehalts eine bessere Bewertung erwartet werden könnte, liegt eher im mittleren Bereich der betrachteten Pflanzen und erhält eine Wertung, die ungefähr jener von Grünland und Luzerne entspricht.

Auffallend sind die großen Schwankungsbereiche bei den Ganzpflanzen von Raps, Lupinen und Sojabohnen, die auf die unsichere Datenlage zurückzuführen sind. Im Gegenteil dazu sind alle Fuzzy Composite Indices der Körner nur mit geringen Schwankungen behaftet, da hier weitaus mehr Analysen vorliegen und demnach die Variabilität sinkt.

Betrachtet man die Ergebnisse der Berechnung bezogen auf die Frischsubstanz, so verändert sich die Bewertung der Körner kaum, da sich aufgrund ihres hohen TM-Gehalts sowohl der CSB als auch der Fasergehalt zwischen Frischmasse und Trockenmasse kaum reduzieren. Auffallend ist jedoch, dass sich bei dieser Betrachtung die Schwankungsbreiten der einzelnen Ergebnisse deutlich verringern. Bezogen auf die Frischmasse weisen die Pflanzen, speziell jene mit niedrigen TM-Anteilen, geringere CSB und Fasergehalte auf. Um eine bessere Vergleichbarkeit zu gewährleisten wurden die gleichen Idealpunkte für CSB und Fasergehalt sowohl im Fuzzy Composite Programming für Frischmasse als auch für TM angenommen. Dadurch vergrößert sich für die meisten Pflanzen der Abstand zum Idealpunkt für diese beiden Kenngrößen deutlich. Im Vergleich zum Abstand zum Idealpunkt verliert somit die Schwankungsbreite der einzelnen Kenngrößen CSB und Fasergehalt an sich an Bedeutung, die Ergebnisse rücken näher zusammen.

Ganzpflanzensilagen werden bezogen auf die Frischmasse generell etwas schlechter bewertet, da der Nachteil des geringeren $CSB \cdot kg \text{ FM}^{-1}$ im Vergleich zum niedrigeren Fasergehalt überwiegt. Besonders deutlich ist dies bei der Zuckerrübe zu sehen (Abbildung 25).

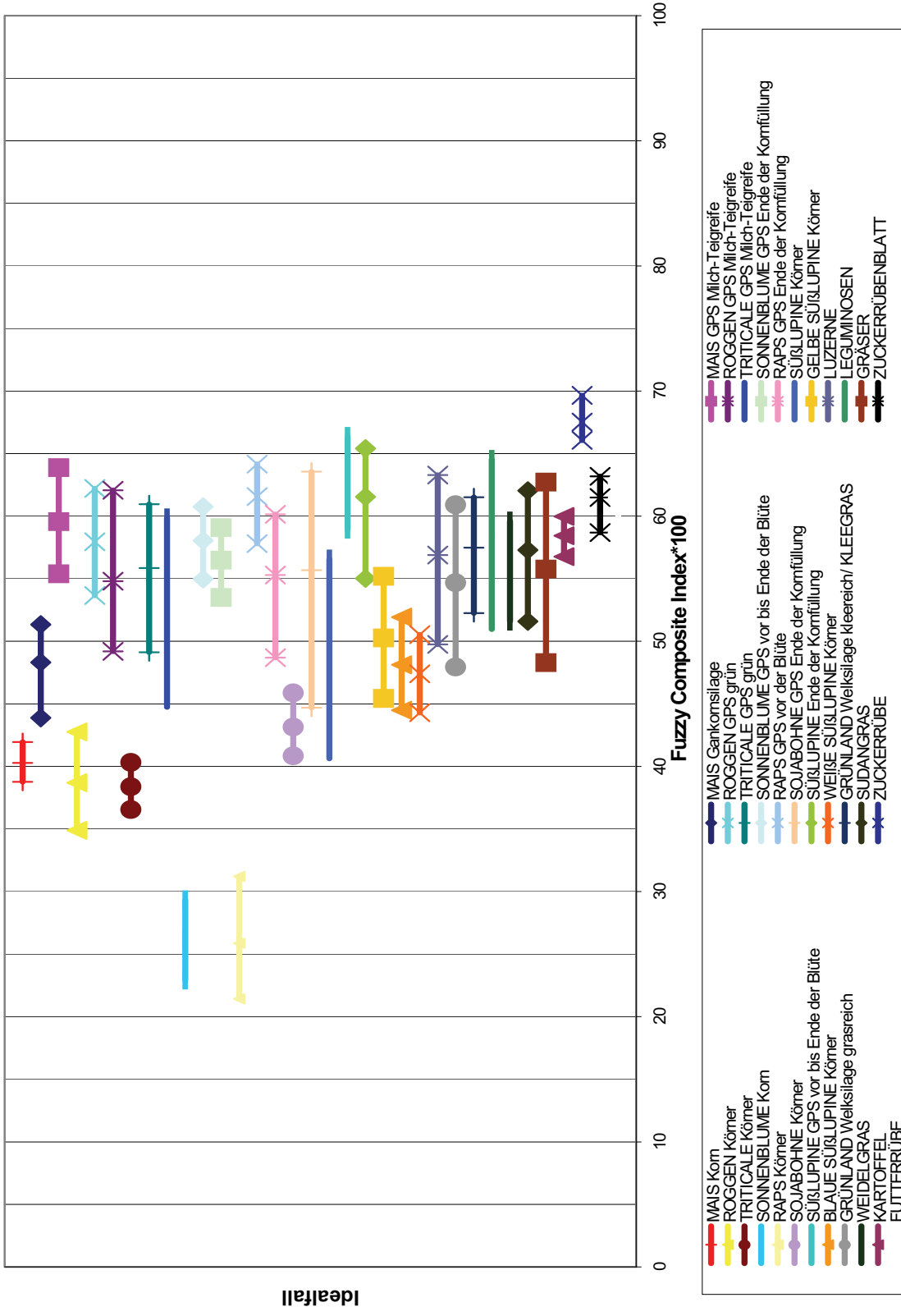


Abbildung 25: Bewertung der Energiepflanzen bezüglich ihrer Eignung für die Methangärung mittels Fuzzy Composite Programming, bezogen auf 1 kg Frischmasse

5.8.3. Düngewirkung

Der berechnete Stickstoffgehalt nach dem anaeroben Abbau schwankt zwischen einem Wert nahe bei $0 \text{ kg} \cdot (\text{t FM})^{-1}$ bis zu einem Wert von knapp über $30 \text{ kg} \cdot (\text{t FM})^{-1}$. Die mit Abstand höchsten Werte wurden für die Biogasgülle aus der Vergärung der proteinhaltigen Samen Lupine und Sojabohne errechnet, die deswegen die Wertung dominieren. In gebühlichem Abstand folgen die Getreidekörner mit einem Gehalt von ungefähr 10 kg Stickstoff je t Frischmasse, während sich die Gehalte der Gülle aus den Ganzpflanzensilagen in einem Bereich von 1 bis $5 \text{ kg}(\text{t FM})^{-1}$ bewegen.

Auch bei Phosphor weisen die Biogasgülle aus der Vergärung der Körnerfrüchte die höchsten Gehalte auf: Wiederum sind es die Lupinen und Sojabohnen, aber auch Getreidekörner sowie Raps, die im Vergleich hervorstechen.

Mais liegt im Bereich bis zu $2 \text{ kg P}(\text{t FM})^{-1}$, während die anderen betrachteten Pflanzen Werte um $0,6$ bis $1,5 \text{ kg P}(\text{t FM})^{-1}$ aufweisen.

Die Kaliumwerte schwanken stärker, eine Einteilung ist aufgrund dessen schwieriger vorzunehmen. Deshalb wird auf die Tabellen im Anhang bzw. Brändle (2006) verwiesen.

Organische Trockensubstanzwerte im Gärrest sind besonders hoch bei den Samen der Ölpflanzen, deren verholzte Schale teils ein Drittel ihrer Gesamtmasse ausmacht und nur schlecht abgebaut wird. Im Gegensatz dazu besonders niedrig fallen die Rückstände an organischer Trockensubstanz bei der Vergärung von Knollenfrüchten auf, da sie sehr gut abbaubar sind und nur geringe Anteile an Fasern enthalten. Auch die Biogasgülle aus der Vergärung von Raps Ganzpflanzensilage vor der Blüte sollte nur geringe Anteile an organischer Trockensubstanz enthalten.

5.8.3.1. Zusammenführende Bewertung Düngereigenschaften

Die zusammenführende Bewertung der Düngereigenschaften wurde nach eingehender fachlicher Diskussion mit folgender Gewichtung durchgeführt:

- Stickstoffgehalt in der Biogasgülle: $0,4$
- Phosphorgehalt in der Biogasgülle: $0,2$
- Kaliumgehalt in der Biogasgülle: $0,2$
- organischer Trockensubstanzgehalt in der Biogasgülle: $0,2$

Nach dem Gehalt an Stickstoff muss sich einerseits die Ausbringung orientieren, sein Gehalt beschränkt andererseits die auszubringende Menge pro Hektar und Jahr. Er wurde deshalb höher gewichtet als die anderen Nährstoffe. Phosphor und Kalium wurden gleich und niedriger gewichtet, da beide wichtig für das Pflanzenwachstum sind, die Werte jedoch mit gewissen Unsicherheiten behaftet sind.

Die Rückführung der organischen Substanz in den Boden wird immer mehr als positiver Effekt und notwendige Maßnahme erachtet, um die Fruchtbarkeit der Böden zu gewährleisten. Sie kann auch nicht durch Ausbringen von Mineraldünger ersetzt werden. Deswegen erhält dieser Indikator die gleiche Gewichtung wie der Gehalt an Phosphor und Kalium.

Das graphische Ergebnis der Berechnung der Eignung bezüglich Düngereigenschaften stellt sich mit dieser Gewichtung wie folgt dar (Abbildung 26).

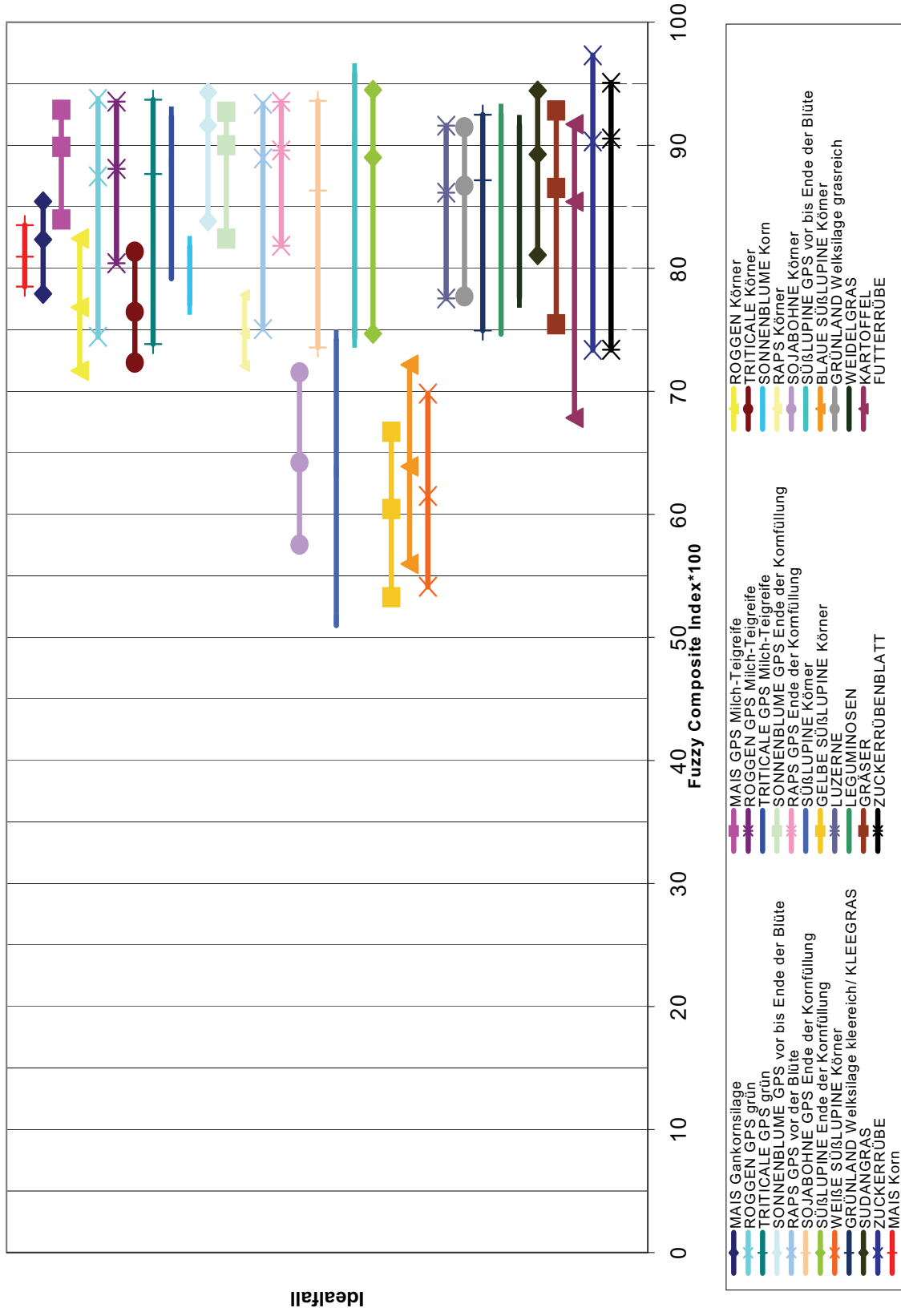


Abbildung 26: Bewertung der Energiepflanzen bezüglich ihrer Eignung für die Düngung nach erfolgtem anaeroben Abbau mittels Fuzzy Composite Programming

Ersichtlich wird hieraus die Dominanz der stark proteinhaltigen Pflanzen, deren Nähe zum Idealpunkt für Stickstoff in Kombination mit der hohen Gewichtung desselben im Vergleich mit den anderen Pflanzen zur mit Abstand besten Wertung führt. Allerdings liegt auch diese beste Bewertung weit entfernt vom Idealpunkt, der wieder mit der y-Achse bei Null korrespondiert. Zu sehen ist weiters die Konzentration der anderen betrachteten Pflanzenarten in einem eher schlechten Bereich, was wiederum größtenteils an ihre geringen Gehalte an Stickstoff und somit sehr großen Abstand zum Idealpunkt für diesen Indikator gekoppelt ist.

Ziemlich ungünstig werden hierbei die Knollenfrüchte bewertet. Letztere unterliegen einerseits einem sehr hohen Trockensubstanzabbau und weisen andererseits nur geringe Gehalte an Stickstoff auf, was die ungünstige Evaluierung bezüglich der Düngereigenschaften erklärt. Bei Ausbringung von Gülle aus einer Monovergärung dieser Früchte muss also relativ viel Wasser mit wenig Inhalt transportiert werden. Unter Umständen wäre hier eine Fest-Flüssig-Trennung oder zumindest eine hofnahe Verwertung der Gülle zu empfehlen.

5.8.4. Sensitivitätsanalysen

Sensitivitätsanalysen des Fuzzy Composite Programming wurden sowohl mit veränderter Gewichtung als auch mit verändertem p-Faktor für alle Module durchgeführt. Die Ergebnisse dazu befinden sich in Tabellenform und grafischer Darstellung in Brändle (2006).

Wird die Gewichtung nicht komplett umgekehrt, was aus fachlicher Sicht abzulehnen ist, ergeben sich nur geringfügige Änderungen in der Bewertung.

Wichtig ist vor allem die Wahl eines geeigneten Idealpunkts und eines worst case Szenarios, welche außerhalb, wenn möglich nahe an der Grenze der betrachteten Alternativen liegen sollen. Da es in vorliegender Betrachtung vor allem um einen Vergleich der unterschiedlichen Pflanzen ging, orientierte sich die Festlegung der Idealpunkte an den tatsächlich auftretenden Werten der betrachteten Energiepflanzen. Je weiter entfernt nämlich der Idealpunkt von den Alternativen gesetzt wird, desto stärker konzentrieren sich die Ergebnisse in einem relativ engen Bereich. Die größeren Abstände zum Idealpunkt wirken sich dann wiederum bei der Aggregation in der nächst höheren Ebene aus. Vor allem hat dies einen Einfluss bei der Wahl eines höheren p-Faktors ($p > 3$), der größere Abstände stärker gewichtet.

Soll eine absolute Bewertung der Eignung eines Substrates für eine bestimmte Anlagenkonzeption zur Biogasgewinnung erstellt werden, so kann sich die Festlegung der Idealpunkte an den Anforderungen der konkreten Konversionsanlage an das Substrat orientieren. So können z.B. maximal erlaubte Schwefelgehalte im Gas als Idealpunkt dienen.

5.8.5. Gesamtbewertung Eignung

Die drei Module Bereitstellung und Lagerung, Methangärung, sowie Düngereigenschaften wurden anschließend einer Gesamtbewertung unterzogen, um eine Reihung bezüglich der Eignung zur Biogasproduktion vornehmen zu können.

Dieses Konzept wurde auch für die Homepage (www.biogasakzeptanz.at) adaptiert, wobei der Benutzer, nach erfolgter Auswahl der Pflanzen, die Gewichtung der Module untereinander frei wählen kann.

So ist z.B. für einen Landwirt, der Substrat zukaft und den Gärrest wiederum abgibt, hauptsächlich die Methangärung von Bedeutung. Durch eine sehr hohe Gewichtung derselben nahe 100 und der beiden anderen mit niedrigen Werten kann er dem Ausdruck verleihen.

Wählt man die voreingestellte Gewichtung von

- Bereitstellung und Lagerung: 0,3 bzw. 30
- Methangärung: 0,6 bzw. 60
- Düngeeigenschaften: 0,1 bzw. 10
- erhält man das Ergebnis für die Gesamtbewertung der Eignung für den Biogasprozess, wie in Abbildung 27 dargestellt.

Die Reihung der Fuzzy Composite Indices nach Tran und Duckstein (2002) liefert folgendes Ergebnis (Tabelle 19):

Tabelle 19: Reihung der Fuzzy Composite Indices bezüglich der Eignung für den Biogasprozess, nach Tran und Duckstein (2002)

RAPS Körner	49,05	LEGUMINOSEN	66,53
SONNENBLUME Korn	51,26	SONNENBLUME GPS vor bis Ende der Blüte	66,57
TRITICALE Körner	51,49	KARTOFFEL	66,75
ROGGEN Körner	51,76	SOJABOHNE GPS Ende der Kornfüllung	66,83
SOJABOHNE Körner	56,74	SONNENBLUME GPS Ende der Kornfüllung	67,25
MAIS Korn	59,28	MAIS GPS Milch-Teigreife	67,71
MAIS Ganzkornsilage	59,32	LEGUMINOSEN-GRÄSERGEMENGE/ KLEEGRAS	67,89
WEIßE SÜßLUPINE Körner	59,52	LUZERNE	68,25
SÜßLUPINE Körner	60,56	SUDANGRAS	68,27
BLAUE SÜßLUPINE Körner	60,75	RAPS GPS vor der Blüte	71,42
FUTTERRÜBE	60,80	SÜßLUPINE Ende der Kornfüllung	72,51
GELBE SÜßLUPINE Körner	61,81	SÜßLUPINE GPS vor bis Ende der Blüte	72,62
WEIDELGRAS	63,71	RAPS GPS Ende der Kornfüllung	74,04
ZUCKERRÜBENBLATT	64,10	ZUCKERRÜBE	76,24
ROGGEN GPS grün	64,21		
GRÜNLAND Welksilage grasreich	64,53		
TRITICALE GPS Milch-Teigreife	64,80		
GRÄSER	65,41		
ROGGEN GPS Milch-Teigreife	65,55		
TRITICALE GPS grün	65,66		

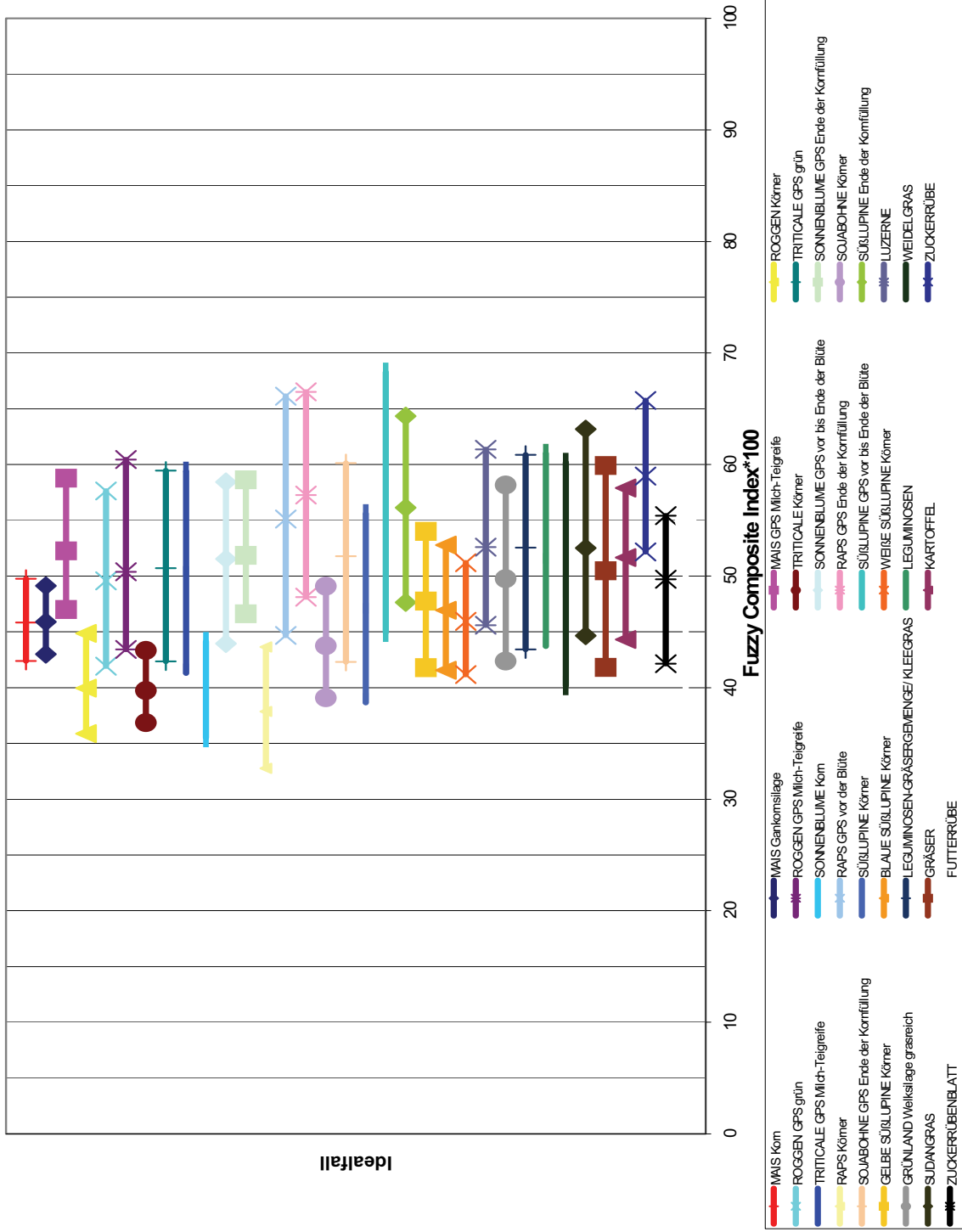


Abbildung 27: Bewertung der Energiepflanzen bezüglich der Eignung für den Biogasprozess

5.9. Zusammenfassende Diskussion

Im Zusammenhang mit der Vergärung von Energiepflanzen wird eine Vielzahl von möglichen Einflussfaktoren genannt. Mit vorliegender Arbeit wurde versucht, wichtige Größen zu einer sinnvollen Bewertung zu aggregieren.

Dazu wurden zunächst wichtige Einflussgrößen auf die verschiedenen Prozesse der Biogaserzeugung erhoben und anschließend gruppiert, um eine Gesamtbeurteilung der Eignung zu ermöglichen. Die ausgewählten Energiepflanzen wurden anschließend in Bezug auf ihre Eignung für den Biogasprozess mit der Rechenvorschrift des Fuzzy Composite Programming verglichen und bewertet.

Die Bewertung der Eignung nach den gewählten Kriterien ergab nur geringe Unterschiede zwischen den einzelnen Pflanzen. Dies liegt einerseits an der Kompensationswirkung und der Tendenz zum Ausgleich, die Composite Programming bewirkt, wenn gegensätzliche oder unvereinbare Ziele formuliert werden. Andererseits tragen auch die erhobenen Charakteristika der Pflanzenarten selbst zu den geringen Unterschieden im Ergebnis bei: Bezogen auf die Trockensubstanz unterscheidet sich pflanzliche Biomasse bis auf die generativen Speicherorgane in der Zusammensetzung nicht grundlegend. Dies trifft vor allem zu, wenn die Variabilität der Kenngrößen mitberücksichtigt wird, die Betrachtung auf der Ebene von Stoffgruppen erfolgt und die Einflüsse einzelner chemischer Substanzen außer Acht gelassen werden. Oft ist die Übereinstimmung innerhalb derselben Reifestadien unterschiedlicher Arten größer als innerhalb der Art zwischen den verschiedenen Reifestadien. Auch durch die Sortenwahl können sich teils größere Unterschiede bemerkbar machen als zwischen den Arten.

Dies deutet bereits daraufhin, dass nicht die Zusammensetzung das Hauptkriterium für die Auswahl einer Pflanze darstellen wird, sondern eine Kombination aus Methan- und Hektarertrag sowie niedrigen Erzeugungskosten. Für die Praxis bedeutet dies aber, dass die Auswahl von Energiepflanzen eher über das Ertragspotenzial am Standort getroffen werden wird, oder auch getroffen werden sollte, da die Unterschiede in der Eignung nicht so groß sind, als dass sie eine gezielte Empfehlung erlauben.

Composite Programming als Methode scheint prinzipiell gut geeignet, ein komplexes Problem in überschaubare Untereinheiten zu gliedern und einer Evaluierung zugänglich zu machen. Selbst ein durch sehr unterschiedliche Prozesse gekennzeichnete Ablauf wie die Biogasproduktion aus Energiepflanzen lässt sich so strukturieren. Schwierigkeiten ergeben sich vor allem bei der Methangärung an sich, da hier ein dynamischer Prozess, in dem viele Schritte aneinander gekoppelt ablaufen, durch statische Größen bewertet werden soll, die zusätzlich datenmäßig nur unzureichend erfasst sind.

Mit der vorliegenden Studie wurde jedoch erstmals eine klare Bewertungsvorschrift zur Diskussion gestellt, die eine Reihung von Energiepflanzen nicht nur über den Methanertrag zulässt. Da sowohl Gewichtung als auch Rechenvorgang transparent und nachvollziehbar gehalten wurden, ist eine Erweiterung auf zusätzliche Substrate problemlos möglich. Auch neue Kenngrößen können ohne Weiteres implementiert werden, was besonders im Hinblick auf die Weiterentwicklung der dynamischen Modellierung des anaeroben Abbauprozesses interessant erscheint. So könnte z.B. das Modul Methangärung durch eine solch dynamische Simulation ersetzt werden und die Ergebnisse daraus in die Bewertung einfließen.

Dabei will sich die Arbeit keineswegs als ausgereiftes Produkt verstanden wissen, sondern als Diskussionsbasis, um einen Bewertungsvorgang objektiver zu gestalten. Dabei ist wiederum auf die Komplexität der anaeroben Abbaukette hinzuweisen, wodurch klar werden muss, dass vorliegende Arbeit nur einen Versuch darstellen kann, diesen Prozess auf wenige zu erfassende Parameter zu vereinfachen und zu beurteilen.

6. Akzeptanz von Energiepflanzen und Biogasanlagen

Aufgrund der Vielfältigkeit des Themas „Akzeptanz von Energiepflanzen und von Biogasanlagen“ wird dieses in drei Dimensionen betrachtet und ein Bewertungssystem erarbeitet:

- Ökologische Bewertung
- Ökonomische Bewertung
- Sozio-ökonomische Bewertung

Die beiden ersten Punkte tragen als wesentliche Parameter dazu bei, ob und mit welchen Energiepflanzen Biogasanlagen betrieben werden. Sie stellen auch einen Wert dar, der in Kombination mit der Eignung der Energiepflanzen (Kapitel 5) zu einer Gesamtbewertung von Energiepflanzen herangezogen werden kann. Diese ist schließlich ein Maß dafür, welche Energiepflanzen aus technischer, ökologischer und ökonomischer Sicht am besten eingesetzt werden können (Kapitel 7.1).

6.1. Ökologische Bewertung

6.1.1. Allgemeines zu Ökobilanzen

6.1.1.1. Definition und Einführung

Laut ISO 14040 ist eine Ökobilanz definiert als eine „Zusammenstellung und Beurteilung der Input- und Outputflüsse und der potenziellen Umweltwirkungen eines Produktsystems im Verlauf seines Lebenswegs (ISO, 1997a).“

Aufgrund des steigenden Bewusstseins für Nachhaltigkeit und Umweltverschmutzung wird dieser Ansatz der ganzheitlichen umweltbezogenen Beurteilung von Produkten und Prozessen immer häufiger herangezogen, um strategische Entscheidungen zu treffen. Die Frage nach der richtigen Vorgehensweise bei solchen Entscheidungen wird also nicht nur vom wirtschaftlichen Standpunkt, sondern auch von einem ökologischen Ansatz beeinflusst, wobei häufig die Ökobilanz (engl. Life Cycle Analysis) als Methode herangezogen wird.

Integrale Bestandteile der der Ökobilanz sind vor allem:

- Zusammenstellung einer Sachbilanz von relevanten Input- und Outputflüssen eines Produktsystems
- Beurteilung der mit diesen Inputs und Outputs verbundenen potenziellen Umweltwirkungen
- Auswertung der Ergebnisse der Sachbilanz und Wirkungsabschätzung hinsichtlich der Zielstellung der Studie (ISO 14040, 1997b).

6.1.1.2. Zweck und Ziel einer Ökobilanz

Die Anwendungsgebiete einer solchen ökologischen Beurteilung sind vielseitig, da das allgemeine Bewusstsein für Emissionen und Ressourcenverbrauch bei Regierungen, Nichtregierungsorganisationen und bei der Bevölkerung gleichfalls im Steigen begriffen ist. Die Ökobilanz eines Produkts bzw. Prozesses kann vor allem anderen helfen

- beim Aufzeigen von Möglichkeiten zur Verbesserung der Umweltaspekte von Produkten in den verschiedenen Phasen ihres Lebensweges
- bei der Entscheidungsfindung in der Industrie, in Regierungen oder Nichtregierungsorganisationen (z.B. bei der strategischen Planung, Prioritätensetzung, Produkt- oder Prozessentwicklung oder entsprechender Umstellung).
- beim Auswählen von relevanten Indikatoren der Umwelleistung einschließlich Messverfahren und
- beim Marketing (z.B. bei Umweltaussagen, bei Umweltkennzeichnung oder bei umweltbezogener Produktdeklarierung).

6.1.1.3. Aufbau einer Ökobilanz

Laut ISO 14040 gibt es einige wichtige Punkte, die bei der Erstellung einer Ökobilanz unbedingt zu beachten sind. So muss vor dem Zusammentragen der relevanten Daten das Ziel der Bemühungen eindeutig definiert und abgesteckt werden (Abbildung 28).

Desgleichen muss der Untersuchungsrahmen festgelegt werden. Darunter werden die Systemgrenzen verstanden, die aufgrund der Zielvorstellungen gewählt werden. Sie dienen dazu, die Bewertung in einem überschaubaren und sinnvollen Rahmen ablaufen zu lassen und solche Punkte wegzulassen, die sich nur mehr marginal auf das Ergebnis auswirken. Das bedeutet aber auch, dass es niemals möglich ist, eine Ökobilanz vollständig und bis ins kleinste Detail auszuarbeiten, da ohne einen gut gewählten Untersuchungsrahmen die Sachbilanz ins Bodenlose ausarten würde.

Die erwähnte Sachbilanz ist die eigentliche Aufführung der Umweltwirkungen, sie ist also der Kern einer jeden ökologischen Bewertung. Vor der Aufstellung dieser Sachbilanz müssen die Kategorien festgelegt werden, deren Wirkungen in der Ökobilanz erfasst werden sollen.

Sind sämtliche Daten zusammengetragen und strukturiert, können diese im letzten Schritt, der Wirkungsabschätzung, beurteilt werden und die gesamten Umweltauswirkungen des untersuchten Produkts, bzw. Prozesses können aufgezeigt werden.

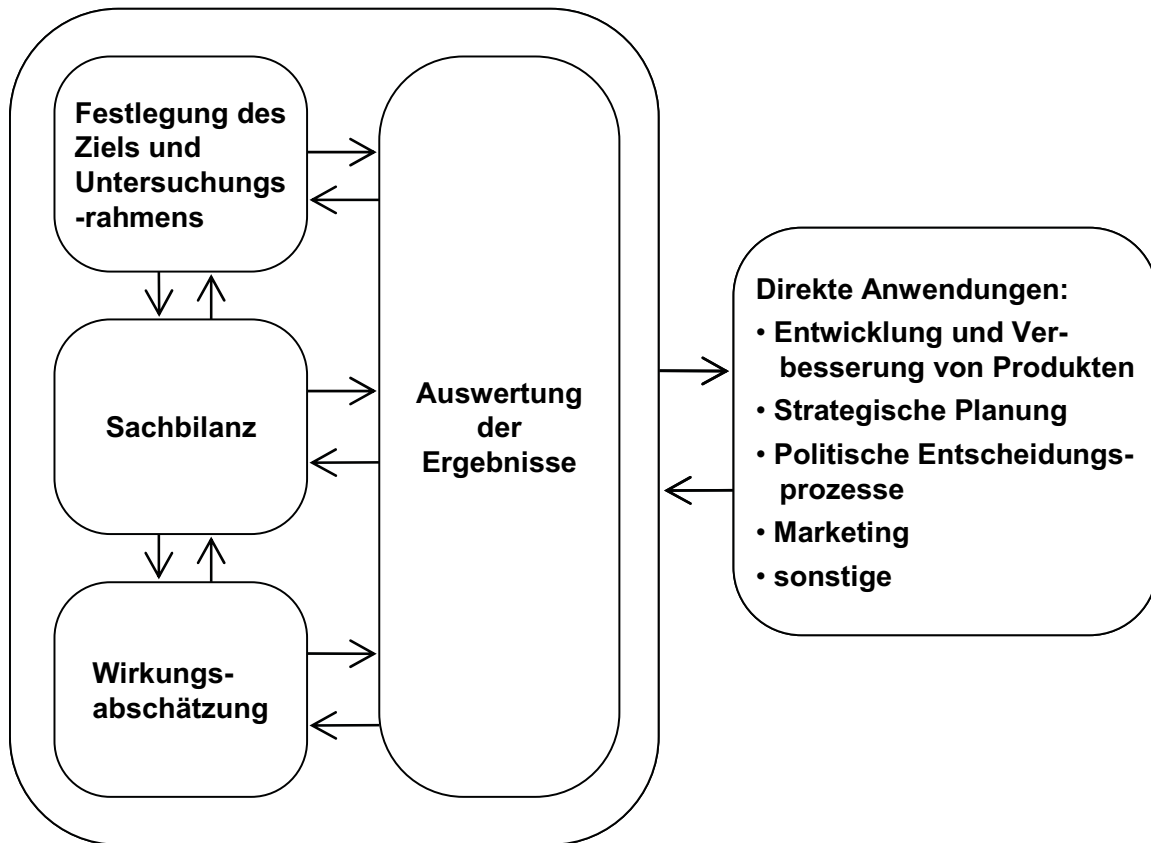


Abbildung 28: Aufbau einer Ökobilanz

6.1.2. Zieldefinition

„Das Ziel einer Ökobilanz-Studie muss eindeutig die beabsichtigte Anwendung festlegen und die Gründe für die Durchführung der Studie sowie die angesprochenen Zielgruppen auflisten, d.h., an wen sich die Ergebnisse der Studie richten sollen.“ (ISO 14040, 1997c)

Ziel dieser Ökobilanz ist es, die umweltrelevanten Wirkungen verschiedener, für den Einsatz in Biogasreaktoren relevanter Energiepflanzen untereinander zu vergleichen. Dies kann zur Beurteilung der Nachhaltigkeit der gesamten Biogasproduktion und deren Anwendung beitragen. Hauptsächlich soll aber eine Entscheidungshilfe für Landwirte und Biogasanlagenbetreiber erstellt werden, mit der diese, abgesehen von der wirtschaftlichen und pflanzenbaulichen Sicht, auch die ökologischen Gesichtspunkte in den Entscheidungsprozess einbeziehen können. Es wird aber auch aufgezeigt, dass der Einsatz von Biogas keine 100 % umweltfreundliche Methode ist, sondern verschiedene Emissionen und negative Umweltwirkungen verursacht, was in der allgemeinen Euphorie für biogene Energieträger oft vergessen wird.

Dafür werden aus den in Ökobilanzen üblicherweise verwendeten Wirkungskategorien solche ausgewählt, die in der landwirtschaftlichen Produktion von Bedeutung sind, relevante Auswirkungen haben und bei denen auch gewisse Unterschiede zwischen den einzelnen Pflanzenkulturen zu bemerken sind.

Ein weiteres Ziel dieses Kapitels ist es, ein System zu entwickeln, das auch in anderen landwirtschaftlichen Bereichen eingesetzt werden kann, die dann wiederum mit dem hier betrachteten vergleichbar gemacht werden.

Schlussendlich sollen mit dieser Arbeit konkrete Empfehlungen abgegeben werden können, welche Energiepflanzen punkto Nachhaltigkeit am besten abschneiden und daher angebaut werden sollten.

6.1.3. Abgrenzung des Untersuchungsrahmens

Bei der Festlegung des Untersuchungsrahmens einer Ökobilanz-Studie müssen folgende Punkte berücksichtigt und eindeutig beschrieben werden:

- die Funktionen des Produktsystems, oder im Fall vergleichender Studien, die Systeme
- die funktionelle Einheit
- das zu untersuchende Produktsystem
- die Grenzen des Produktsystems
- die Allokationsverfahren (=Zuordnung der Input- und Outputflüsse eines Moduls auf das untersuchte Produktsystem)
- die Wirkungskategorien und die Methode für die Wirkungsabschätzung und die anschließend anzuwendende Auswertung
- die Anforderungen an Daten
- die Annahmen
- die Einschränkungen
- die Anforderungen an die Qualität der Daten
- die Art der kritischen Prüfung, sofern vorgesehen
- die Art und der Aufbau des für die Studie vorgesehenen Berichts.

Der Untersuchungsrahmen sollte hinreichend gut definiert werden, um sicherzustellen, dass die Breite, Tiefe und die Einzelheiten der Studie widerspruchsfrei und für das vorgesehene Ziel hinreichend sind.

Die Ökobilanz ist ein iterativer Prozess. Deshalb kann es notwendig sein, den Untersuchungsrahmen der Studie während der Durchführung durch zusätzliche gesammelte Informationen zu modifizieren (ISO 14040, 1997d).

Die Ökobilanz wurde in diesem Projekt auf die Energiepflanzenproduktion beschränkt (Abbildung 29). Die weiteren Prozessschritte wurden hier nicht bewertet, da sie wenig spezifisch für Energiepflanzen sind und in anderen Arbeiten bereits behandelt wurden.

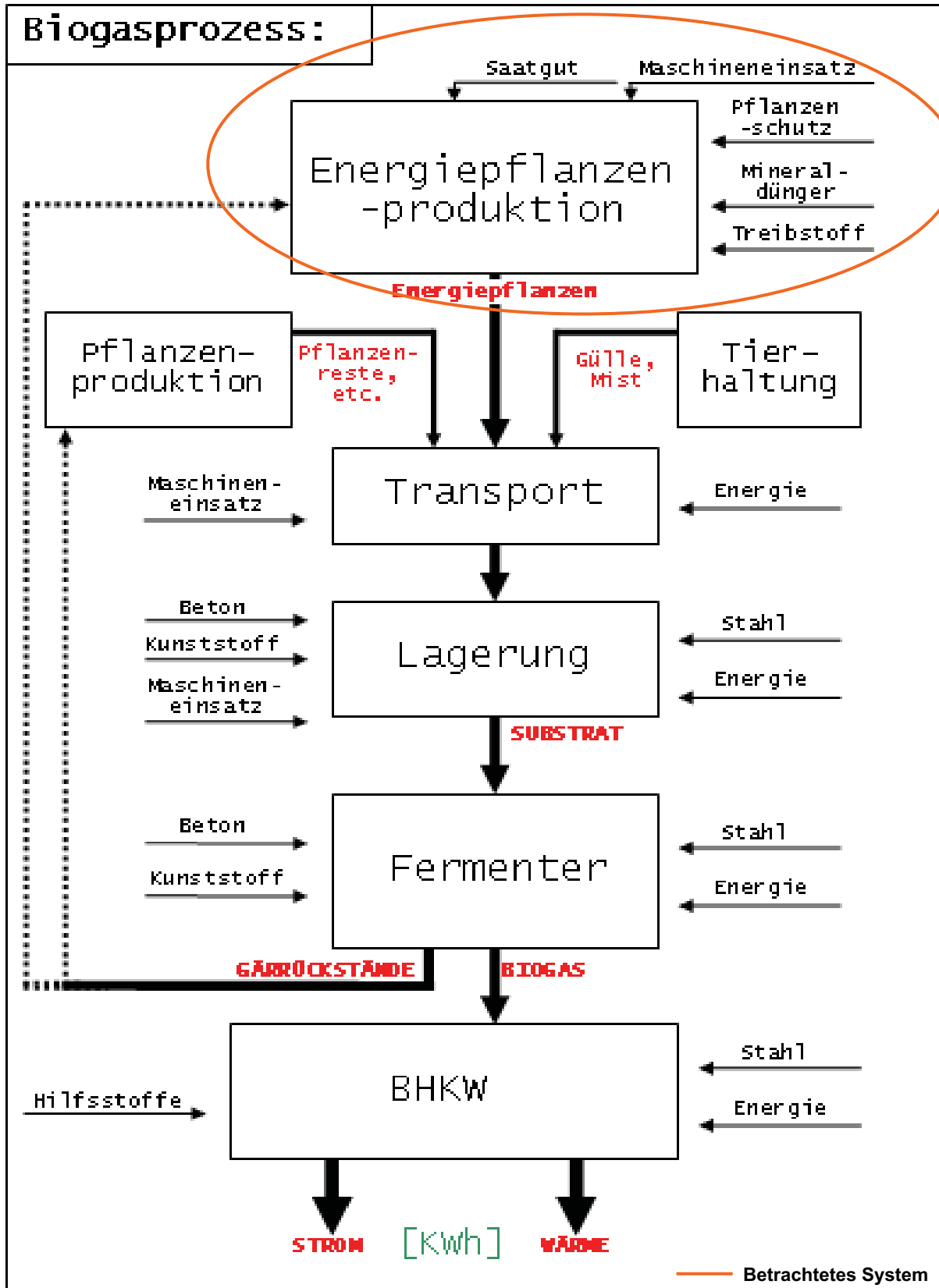


Abbildung 29: Schema des Biogas-Prozesses

6.1.4. Funktionelle Einheit

Die Funktionelle Einheit ist „der Quantifizierte Nutzen eines Produktsystems für die Verwendung als Vergleichseinheit in einer Ökobilanzstudie.“

Der Untersuchungsrahmen einer Ökobilanz-Studie muss die Funktionen des untersuchten Systems eindeutig festlegen. Eine funktionelle Einheit ist ein Maß für den Nutzen des Produktsystems. Hauptsächlich dient eine funktionelle Einheit dazu, einen Bezug zu schaffen, auf den Input- und Outputflüsse bezogen werden. Dies ist notwendig, um die Vergleichbarkeit der Ergebnisse von Ökobilanzen sicherzustellen. Die Vergleichbarkeit der Ergebnisse von Ökobilanzen ist besonders entscheidend, wenn unterschiedliche Systeme bewertet werden, um die Durchführung derartiger Vergleiche auf einheitlicher Grundlage zu sichern.

Ein System kann eine Vielzahl möglicher Funktionen haben. Die Funktion, die für eine Studie ausgewählt wird, hängt von den Zielen und vom Untersuchungsrahmen der Studie ab. Die als Bezug ausgewählte funktionelle Einheit muss eindeutig festgelegt und messbar sein.

Die Funktionelle Einheit bei einer Ökobilanz stellt jene Größe dar, auf die die ermittelten Umweltauswirkungen bezogen werden. Dadurch können diese vergleichbar gemacht werden und die Relevanz kann besser erkannt werden.

Als mögliche funktionelle Einheiten für diese Arbeit wurden folgende erkannt:

kg Frischmasse	kWh _{thermisch}
kg TS	kWh _{gesamt}
kg oTS	m ³ Biogas
kWh _{elektrisch}	m ³ Methan

In der Annahme, dass neben dem elektrischen Strom auch die Wärmeabgabe wirtschaftlich genutzt werden kann, wurde für diese Ökobilanz „**kWh gesamt**“ als Bezugsgröße gewählt, da dies der relevante Output einer Biogasanlage ist. Die umweltbezogenen Werte werden meist pro Hektar errechnet und dann durch den mit der jeweiligen Kultur erreichbaren energetischen Output dividiert.

Die Frage, ob die Wärmeenergie auch im Sommer vollständig genutzt werden kann, ist vor allem für die Ökobilanz der Biogasanlage wichtig. Da die hier durchgeführte Ökobilanz vorwiegend vergleichenden Charakter hat und sich der Faktor Wärmenutzung auf den Betrieb mit jeder Pflanzenkultur auswirken würde, kann er vernachlässigt werden.

6.1.5. Beschreibung und Auswahl der Wirkungskategorien

Zur Beurteilung der Umweltwirkungen eines Produkts bzw. Prozesses steht eine große Zahl an Kategorien für die Einteilung zur Verfügung. Diese Kategorien wiederum hängen stark von der Art des betrachteten Systems und auch vom Ziel der Ökobilanz ab. Besonders in der landwirtschaftlichen Produktion gibt es spezielle Auswirkungen, die zusätzlich berücksichtigt werden müssen.

Uwe Geier gibt in seinem Buch „Auswirkungen der Ökobilanz-Methode auf die Landwirtschaft“ (Geier, 2000) einen Überblick über die möglichen Wirkungskategorien auf landwirtschaftlichen Betrieben.

In Abbildung 30 sind diese Wirkungskategorien hinsichtlich ihrer räumlichen Lage und ihrer Ausbreitungscharakteristik skizziert. Dabei wird unterteilt in Auswirkungen innerhalb des Betriebs, Auswirkungen außerhalb des Betriebs und solchen, die zwar innerhalb des Betriebs passieren, sich jedoch ebenso auf die umgebende Umwelt niederschlagen.

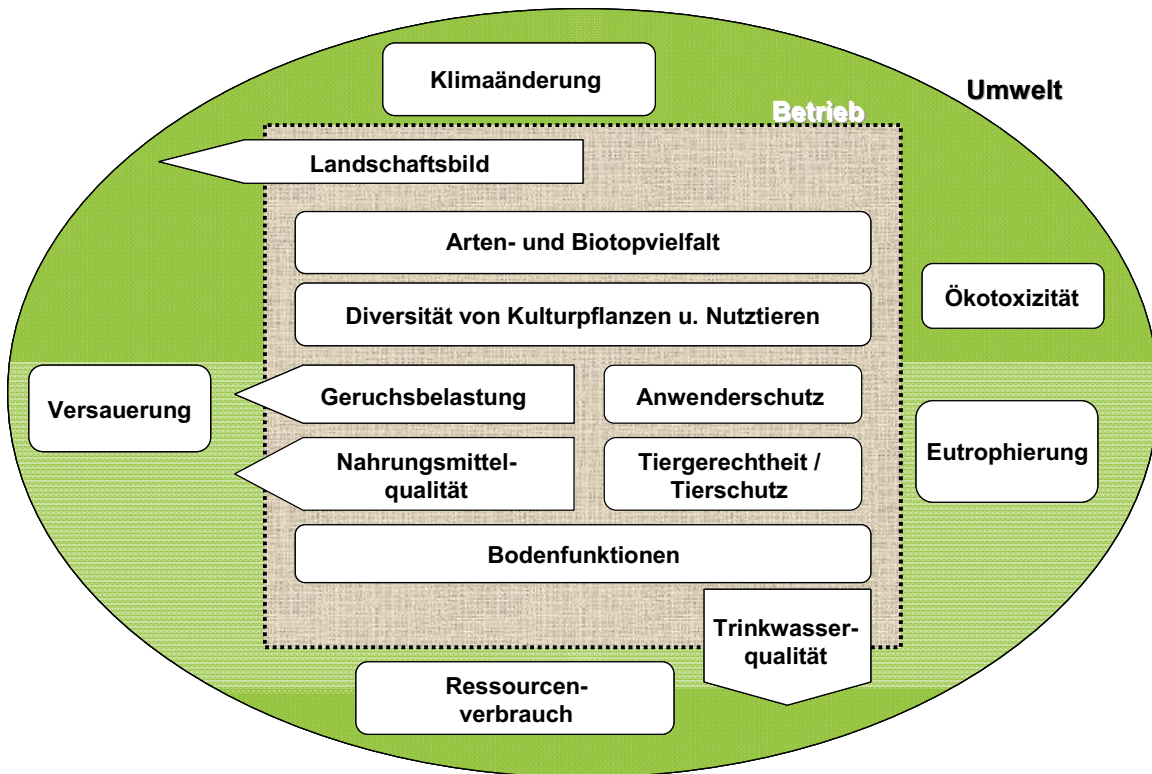


Abbildung 30: Einteilung der Wirkungskategorien

Nicht alle diese Kategorien müssen, beziehungsweise können berücksichtigt werden. Gründe für eine Nichtberücksichtigung können sein:

- mangelnde Datenlage
- sicher anzunehmende Bedeutungslosigkeit
- völlige Gleichheit bei den zu vergleichenden Varianten der vergleichenden Ökobilanz

6.1.5.1. Innerbetriebliche Wirkungskategorien

Arten- und Biotopvielfalt

Aufgrund der hohen Flächenbeanspruchung der Landwirtschaft kommt es zu einer signifikanten Änderung von Naturräumen. Auf diese Weise ist die Landwirtschaft verantwortlich für die Bedrohung und das Aussterben vieler Arten. Andererseits stellen landwirtschaftliche Nutzflächen den Hauptlebensraum für Arten der Offenlandbiotope dar, wobei es kulturspezifische Unterschiede gibt.¹²

Die Erhaltung einer vielfältigen Kulturlandschaft trägt also auch zur Förderung der natürlichen Diversität bei. Dieser Faktor lässt sich also für eine gesamtbetriebliche Betrachtung durchaus auf einer mehr oder weniger objektiven Ebene bewerten. Im Falle des hier durchgeführten Kulturpflanzenvergleichs können an dieser Stelle allerdings keine Aussagen getätigt werden.

Diversität von Kulturpflanzen und Nutztieren

Die Diversität von Kulturpflanzen und Nutztieren ist als Unterpunkt der allgemeinen Biodiversität zu sehen. Generell zielt diese auf die Betrachtung der Artenvielfalt von wildlebenden Organismen. In den letzten Jahrzehnten wurde allerdings auch die Erhaltung von Tieren und Pflanzen im landwirtschaftli-

¹² <http://europa.eu.int/rapid/pressReleasesAction.do?reference=IP/01/447&format=HTML&aged=0&language=DE&guiLanguage=en;>
08.08.04

chen Bereich immer bedeutender, wodurch ein großer Pool an genetischem Material gesichert werden soll.

Diese Art der Diversität lässt sich dabei in drei Kategorien einteilen:

- Grünlandarten und -populationen,
- Kulturpflanzenarten im Acker- und Gartenbau
- Nutzierrassen (Geier 2000)

Diese noch vorhandene Vielfalt an „alten“ Kulturarten kann nun zum Beispiel auch genutzt werden, um neue Pflanzenarten zur Nutzung in Biogasreaktoren zu züchten, da es hier nicht auf die bisher forcierten Fruchterträge, sondern auf die organische Trockenmasse ankommt.

Bodenfunktionen

Zur Beurteilung der Bodenfunktionen stehen jene Parameter im Visier, welche den landwirtschaftlichen Boden als solchen gefährden. Es sind dies vor allem:

- Erosion
- Verdichtung
- Humusabbau

Hierbei geht es vor allem darum, dass die physikalischen Eigenschaften des Bodens verändert werden und der Boden mittel- bis langfristig zerstört wird und nicht mehr zur Pflanzenproduktion geeignet ist (COWELL, 1998).

Im Gegensatz dazu ist die Beeinträchtigung der Bodenfunktionen durch Eutrophierung oder die Zufuhr anderer belastender Stoffe nur relativ kurzfristig und betrifft eher eine Belastung des Grundwassers, die durch eine eigene Wirkungskategorie abgedeckt wird.

Wie bei anderen Wirkungskategorien auch, ist es für eine Kultur nicht allgemein zu sagen, wie sie sich im Vergleich zu anderen Kulturformen auswirkt. Die Wahrscheinlichkeit einer Beeinträchtigung der Bodenfunktionen hängt vor allem von Wetterverhältnissen, Bodentypen und Bewirtschaftung ab. Die Kultur selbst spielt dabei nur eine geringe Rolle. Etwas besonderes Potenzial für diese Art der Umweltbelastung (z.B. Erosionsgefährdung bei Maisanbau) wird in dieser Ökobilanz nicht erfasst, da hierzu kaum Material vorhanden ist, bzw. dieses sich nicht in eine vergleichbare Form bringen lässt.

Anwenderschutz

Gefahrenquellen für den Landwirt können vor allem durch die Handhabung von Düngern und Pflanzenschutzmitteln entstehen. Grundsätzlich ist daher festzustellen, dass Pflanzenkulturen mit diesbezüglich höheren Einsatzmengen auch ein höheres Gefahrenpotenzial aufweisen. Da dieses Risiko von Vergiftungen jedoch durch Maßnahmen im Rahmen der „guten landwirtschaftlichen Praxis“¹³ minimiert bzw. eliminiert werden kann, wird dieser Punkt ebenfalls in diese Bewertung nicht aufgenommen.

Tiergerechtigkeit / Tierschutz

Da die hier erstellte Ökobilanz nicht mit der Tierhaltung am Betrieb in Verbindung steht, wird dieser Punkt aus der Bewertung weggelassen.

¹³ www.ama.at; 01.08.04

6.1.5.2. Innerbetriebliche Wirkungskategorien mit Auswirkung nach außen

Landschaftsbild

Das Landschaftsbild wird allgemein als Summe der sichtbaren einzelnen Landschaftsfaktoren wie Hügel, Flüsse, Wiesen, verschiedene Kulturpflanzen etc. verstanden, die der Betrachter zu einem Gesamtbild zusammenfügt. Es stellt so zwar eine objektiv bestehende Landschaft dar, wird jedoch vom Standpunkt des Betrachters subjektiv wahrgenommen und entsprechend gewertet. Maßgeblich für die Beurteilung der Landschaft ist also vor allem die ästhetische Wahrnehmung des Betrachters.

Dabei sollte die Landschaft eine eigene Charakteristik in Form von landschaftlicher Vielfalt, Struktur und Natürlichkeit aufweisen.

Sieht man das Gesamtlandschaftsbild, so führen menschliche Eingriffe in der Landschaft zwangsläufig zu Einschränkungen dieser Punkte.¹⁴

Zur objektiven Bewertung dieser Faktoren lassen sich aber keine Parameter aufstellen, da Schönheit sprichwörtlich im Auge des Betrachters liegt. Abwechslung ist wohl der wichtigste Aspekt, kann jedoch logischerweise nicht für eine einzelne Kulturart beurteilt werden und hängt von der Bewirtschaftung des umliegenden Landes ab, ist also regional stark unterschiedlich.

Geruchsbelastung

Die Geruchsbelastung kann vor allem im Siedlungsgebiet zu einem erheblichen Problem werden. Dies ist vor allem in der Tierhaltung problematisch, hier könnten die Emissionen durch die Behandlung im Biogasreaktor aber sogar verringert werden. Im Pflanzenbau sind Geruchsbelästigungen gering bis nicht vorhanden, weshalb dieser Punkt im Vergleich der relevanten Energiepflanzen nicht berücksichtigt wird.

Trinkwasserqualität

Die Trinkwasserqualität kann nicht direkt als Wirkungskategorie herangezogen werden, da auch viele andere Einflüsse auf die Wasserqualität Einfluss haben, die stark schwanken und nicht räumlich abgegrenzt werden können. Diese Kategorie wird daher unter dem Punkt Ökotoxizität abgehandelt, also durch den durchschnittlichen kulturbezogenen Schadstoffaustrag in den Boden, und dadurch weiter in das Grund- und Fließwasser.

6.1.5.3. Wirkungskategorien mit Auswirkung nach außen

Abbildung 31 gibt einen Überblick über die einzelnen umweltwirksamen Stoffe, die im Rahmen einer Ökobilanz aufgeführt werden. Gleichzeitig werden diese der jeweiligen Wirkungskategorie zugewiesen und mit einem Faktor versehen, der eine Aussage darüber trifft, wie stark die Wirkung des Stoffes im Vergleich zum wichtigsten Vertreter ist. (Beispiel: CH₄ hat 21 mal so viel Einfluss auf die Klimaerwärmung wie CO₂)

¹⁴ www.landconsult.com; 01.08.04

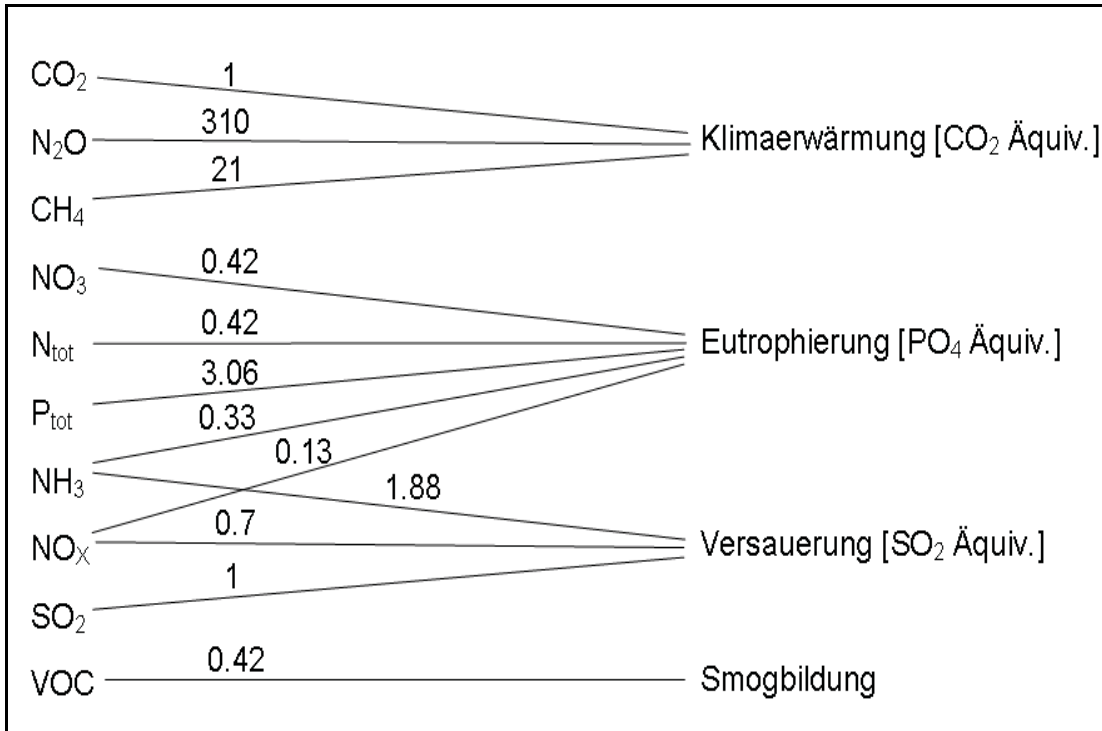


Abbildung 31: Einfluss einzelner chemischer Verbindungen auf die Wirkungskategorien (Brentrop 2001)

Klimaänderung

Einer der wichtigsten Parameter zur Beurteilung von Umweltwirkungen ist der Einfluss auf das Klima. Durch die Erhöhung des atmosphärischen Kohlendioxidanteils kam es im letzten Jahrhundert zu einem Treibhauseffekt und dadurch zu einem bedenklichen Anstieg der weltweiten Durchschnittstemperaturen. Um dieser Entwicklung entgegenzuwirken, wurde bereits eine Vielzahl von Maßnahmen definiert, die den CO₂-Ausstoß eindämmen sollen.

Ein Vorteil von Biogasanlagen liegt also in der CO₂ Reduktion, da dabei kaum fossile Ressourcen verbrannt werden müssen. Zur Produktion der nötigen Gärsubstrate werden jedoch trotzdem fossile Energieträger aufgewendet, man denke vor allem an Treibstoffe und die Energie zur Produktion von Betriebsmitteln. Die so erzeugten Treibhausgase werden unter diesem Punkt bilanziert und in Form des CO₂-Äquivalents ausgedrückt.

Äquivalente:

Aus CH₄: 1kg CH₄ = 21 kg CO₂-Äquivalent

Aus N₂O: 1kg N₂O = 310 kg CO₂-Äquivalent

[Das Wort Äquivalenz (v. *lat.*: *aequus* = gleich + *valere* = wert sein) bezeichnet in der Bildungssprache die Gleichwertigkeit verschiedener Dinge. Hier bezeichnet es den Bezug der Wirkung des zu untersuchenden Stoffes im Vergleich zum Leitgas CO₂]¹⁵

Eutrophierung

Eutrophierung nennt man die Erhöhung der Nährstoffgehalte in einem Gewässer, vor allem an Phosphor und Stickstoffverbindungen. Meist wird der Begriff im Sprachgebrauch auch auf deren Auswir-

¹⁵ <http://de.wikipedia.org/wiki/%C3%84quivalent>; 20.04.05; 14:40

kungen erweitert. Die wichtigste Folge der Eutrophierung ist die Zunahme des Pflanzenwachstums im Gewässer, woraus eine erhebliche Verminderung des Sauerstoffgehalts im Wasser resultiert.

Die Hauptursachen für diese Nährstoffanreicherung sind die Einleitung ungeklärter Abwässer und die Stickstoffauswaschung aus den Böden landwirtschaftlich intensiv genutzter Gebiete. Die Eutrophierung hängt dabei von einer Vielzahl von Faktoren ab, wie der landwirtschaftlichen Praxis, dem Wirtschaftsdüngeranfall, der Düngerart, den klimatischen Verhältnissen, den Bodeneigenschaften, etc. Die Kultur als solches hat dabei jedoch nur einen geringen Einfluss.

Eine sachgerechte Düngung ist natürlich grundsätzliche Voraussetzung, die aber gerade im Falle eines überhöhten Düngeranfalles oftmals vernachlässigt wird.

Über das Potenzial einer Pflanze zur Eutrophierung lassen sich kaum Angaben machen, da sowohl Pflanzen mit hohem, als auch solche mit einem niedrigen Düngerbedarf überdüngt werden können. Ein Punkt, der in der Praxis besonders berücksichtigt werden muss, ist der Gesamtanfall an Wirtschaftsdünger und Gärrückständen aus der Biogasanlage im Gegensatz zur Nährstoffaufnahme der Pflanze und den zur Verfügung stehenden Ausbringungsflächen, an denen vor allem in Regionen mit starkem Viehbesatz oft bereits Mangel herrscht. Dies kann zu einem unüberwindbaren Hindernis für die Errichtung und den Betrieb einer mit Energiepflanzen betriebenen Biogasanlage werden.

Versauerung

Die Ursachen der Versauerung sind hauptsächlich in der Verbrennung fossiler Brennstoffe und in landwirtschaftlichen Tätigkeiten zu finden, hier wiederum hauptsächlich in der Tierhaltung. Zirka 95 % der NH₃-Emissionen entstehen in der Landwirtschaft bei der Produktion und Ausbringung von Wirtschaftsdünger und in geringem Maße bei der Produktion von Mineraldünger. Eine natürliche Versauerung ist zwar auch bereits durch unbelasteten Regen festzustellen, anthropogene Einflüsse wie die oben genannten wirken sich aber durch den entstehenden sauren Regen verstärkt aus und beschleunigen den Versauerungseffekt wesentlich.¹⁶

Das SO₂-Äquivalent ist eine Kennzahl für das Versauerungspotenzial von Stoffen, wie z.B. SO₂, NO_x, HCl, HF, NH₃ und H₂S. Dieser quantifizierte Wert wird mit dem Standardwert des Versauerungspotenzials von SO₂ in Relation gesetzt.¹⁷

Äquivalente:

Aus NO _x :	1kg NO _x	=	0,7	kg SO ₂ -Äquivalent
Aus NH ₃ :	1kg NH ₃	=	1,88	kg SO ₂ -Äquivalent

Ressourcenverbrauch

Der Ressourcenverbrauch wird vereinfacht mit dem kumulierten Energieaufwand (KEA) berechnet. Diese Methode wurde vom Verein Deutscher Ingenieure entwickelt und gibt die Summe des primär-energetischen Inputs von Herstellung, Nutzung und Beseitigung an. Der KEA wurde mit der VDI-Richtlinie 4600 methodisch beschrieben.¹⁸

Im Falle des Energiepflanzenvergleichs fällt die Beseitigung größtenteils weg, weil viele der betrachteten Stoffkategorien von den Pflanzen aufgenommen, vom Niederschlag abgespült, oder in Motoren verbrannt werden.

¹⁶ http://europa.eu.int/comm/agriculture/envir/report/de/acid_de/report.htm; 01.09.04

¹⁷ <http://de.wikipedia.org/wiki/SO2-%C3%84quivalent> ; 11.03.05

¹⁸ www.umweltbundesamt.de/uba-info-daten/daten/baum/php/glossar.php; 16.08.04

Ökotoxizität

„Unter Ökotoxizität versteht man schädliche Effekte, die durch chemische Verbindungen auf die verschiedenen Lebewesen, deren Population und deren natürliche Umgebung hervorgerufen werden.“¹⁹

Die Wirkungskategorie Ökotoxizität soll die Emission ökotoxischer Stoffe bewerten. Vor allem durch die Ausbringung von Pflanzenschutzmitteln werden in der Landwirtschaft ökotoxische Stoffe emittiert. Die überwiegende Ackerfläche Deutschlands, etwa 10 Mio. ha, wird regelmäßig mit Pflanzenschutzmitteln behandelt. In Tierhaltungsbetrieben muss zusätzlich noch der Einsatz von Medikamenten und Leistungsförderern mit einbezogen werden (GEIER 2000).

Smogbildung

Das Potenzial eines Stoffes bzw. Prozesses zur Bildung von bodennahem Ozon wird durch das TOPP-Äquivalent (tropospheric ozone precursor potential equivalents) angegeben. Dieses Ozon wiederum stellt mit 70–80% den Hauptanteil des als „Sommersmog“ bezeichneten Photooxidantien-gemisches dar. Dieser Punkt ist ebenfalls wichtig bei der Bewertung von Umweltwirkungen, wird hier aber nur der Vollständigkeit wegen aufgeführt.

Ozon in Bodennähe ist bereits in geringen Konzentrationen schädlich für Mensch und Tier, da es sehr reaktionsfreudig ist und die Schleimhäute angreift. Eine erhöhte Ozonkonzentration kann zur Erkrankung der Atemwege führen.²⁰

Für die Bildung von Photooxidantien sind in erster Linie Emissionen von ungesättigten Kohlenwasserstoffen und Stickstoffoxiden verantwortlich, woran die Landwirtschaft jedoch nur einen zu vernachlässigenden Anteil hat. Daher ist ein Vergleich verschiedener Pflanzenkulturen auf ihr Potenzial zur Bildung dieser Photooxidantien nicht von Bedeutung und in einer landwirtschaftsbezogenen Ökobilanz zu vernachlässigen.

6.1.5.4. Auswahl der Kategorien

Schließt man alle Kategorien aus, die in diesem Fall irrelevant, bzw. nicht beurteilbar sind, bleiben noch drei Wirkungskategorien übrig, die in Folge als Einteilung der Umweltwirkungen herangezogen werden. Es sind dies:

- Klimaänderung [CO₂ – Äquivalent]
- Versauerung [SO₂ – Äquivalent]
- Ressourcenverbrauch [Kumulierter Energieaufwand]

Es mag auf den ersten Blick stark vereinfacht erscheinen, sich bei dieser Ökobilanz auf nur drei Wirkungskategorien zu beschränken. Weiß man aber über den sehr allgemeinen Charakter dieser Bewertung (sie gilt als Annäherung für ganz Österreich und jeden Standort) so wird man einsehen, dass manche Einschränkungen unumgänglich sind, will man einen einigermaßen objektiven Vergleich abgeben.

¹⁹ www.der-gruene-faden.de; 05.09.04

²⁰ http://www.braunschweig.de/umwelt_naturschutz/umwelt_abc/ozon-bodennahes.html; 10.10.04

6.1.6. Sachbilanz

Sachbilanzen umfassen Datensammlung und Berechnungsverfahren zur Quantifizierung relevanter Input- und Outputflüsse eines Produktsystems. Diese Inputs und Outputs können sich auf die Beanspruchung von zum System gehörenden Ressourcen sowie auf die Emissionen in Luft, Wasser und Boden beziehen. Aus diesen Daten können in Abhängigkeit vom Ziel und Untersuchungsrahmen der Ökobilanz Auswertungen vorgenommen werden. Diese Daten bilden auch die Grundlage zur Wirkungsabschätzung.

Der Prozess zur Erstellung einer Sachbilanz ist iterativ. Während Daten gesammelt und das System näher untersucht wird, können neue Datenanforderungen oder Einschränkungen erkannt werden, die eine Änderung der Verfahren zur Datensammlung erfordern, damit die Ziele der Studie noch erfüllt werden können. Manchmal können Sachverhalte festgestellt werden, die Änderungen des Ziels oder des Untersuchungsrahmens der Studie erfordern.

Ebenso, wie die Wirkung der Umwelteinflüsse in Wirkungskategorien eingeteilt wurde, muss auch der Systeminput abgegrenzt werden und sich auf die wesentlichen Faktoren beschränken. Dabei wurden drei Hauptfaktoren identifiziert, die den überwiegenden Anteil an den negativen Umweltwirkungen aufweisen. Den Hauptanteil hält hier, neben dem Treibstoff- und dem Pflanzenschutzmitteleinsatz, wiederum der Mineraldünger, wo auch die größten Unterschiede festzustellen waren.

6.1.6.1. Düngeraufwand

Zur Bewertung des Düngereinsatzes werden die Emissionswerte (CO₂-Äquivalent, SO₂-Äquivalent, Kumulierter Energieaufwand) aus der Produktion herangezogen. Im Bereich N-Düngung ergeben sich starke Unterschiede, vergleicht man den Bedarf der einzelnen Energiepflanzen. Vor allem der Anbau von Leguminosen als N-Lieferanten steht im Gegensatz zu Pflanzen mit hohem N-Bedarf wie etwa Mais oder Raps.

Bei einem eingeschränkten Angebot an Ausbringungsflächen ist es nicht nötig, Mineraldünger einzusetzen, da vorrangig die Gärrückstände aus der Biogasproduktion verwertet werden müssen. Werden dann zusätzlich Leguminosen angebaut, kann es zu einer beträchtlichen Überdüngung kommen, was aus Umweltschutzgründen unbedingt vermieden werden sollte.

In Ackerbaugebieten ist aber davon auszugehen, dass es ausreichend Flächen zur Ausbringung der Gärrückstände gibt. Daher, und um die Kulturpflanzen eindeutig vergleichen zu können, wird in dieser Arbeit mit den vollen Erzeugungswirkungen der Düngemittel gerechnet. Die Ausbringung der Gärrückstände sollte aber in die Ökobilanz von Biogasanlagen eingerechnet werden.

Weiters ist zu beachten, ob im betrachteten Gebiet intensive Tierhaltung betrieben wird. Ähnlich wie im Biogasreaktor fallen auch hier große Mengen an Wirtschaftsdünger an, die auf die Flächen verteilt werden müssen, und somit wiederum Mineraldünger einsparen, beziehungsweise aber auch potenzielle Ausbringungsflächen für Düngemittel gegenüber den Gärrückständen binden. Aufgrund der Flächenkonkurrenz ist aber davon auszugehen, dass Biogasanlagen hauptsächlich in pflanzenbaulichen Produktionsgebieten realistische Chancen haben. Die Ergebnisse zeigen einen durchschnittlichen Düngerbedarf für die untersuchten Energiepflanzen, wie in Tabelle 20 angeführt.

Tabelle 20: Düngereinsatz je Hektar bei den Energiepflanzen

Kulturpflanze	Düngereinsatz [kg / ha]			
	N	K	P	Sonstiges
Mais	180	175	54	–
Sudangras	180	108	85	–
Luzerne	0	300	40	200 Ca
Ackergras	150	0	0	–
Kartoffel	115	100	56	50 Mg
Lupine	0	116	31	–
Miscanthus	85	200	50	30 Mg
Raps	200	166	76	30 S
Roggen	110	104	49	60 Mg
Triticale	140	120	42	25 Mg
Sonnenblume	80	160	27	26 Mg
Sojabohne	0	240	60	–
Zuckerrübe	155	290	68	–
Landsberger-Gemenge	60	108	51	–

Das Programm „Gemis 4.1“ (GEMIS 2000) gibt Angaben zur Berechnung der Umweltwirkungen aus der Düngerezeugung, wonach in weiterer Folge die Einsatzmengen an Düngemitteln auf die freigesetzten Emissionen hochgerechnet werden können. Dabei wird von folgenden Emissionen, bzw. Ressourcenverbrauch pro produziertem Kilogramm Mineraldünger ausgegangen, wie in Tabelle 21 dargestellt.

Tabelle 21: Umweltwirkungen pro kg Mineraldünger

Düngerart	Umweltwirkungen pro kg Mineraldünger		
	CO ₂ – Äquivalent [kg]	SO ₂ – Äquivalent [g]	KEA [kWh]
N – Dünger	5,559	7,075	2,519
K – Dünger	0,083	0,099	0,385
P – Dünger	4,103	61,200	10,925
Ca – Dünger	1,082	0,522	0,001

Werden diese Daten nun mit den Düngeraufwandmengen multipliziert ergibt sich folgende Aufstellung laut Tabelle 22.

Tabelle 22: gesamte Umweltwirkungen der Düngung je Hektar

Kulturpflanze	Umweltwirkungen pro Hektar Anbaufläche		
	CO ₂ – Äquivalent [kg / ha]	SO ₂ – Äquivalent [kg / ha]	KEA [kWh / ha]
Mais	1236,6	4,60	1110,8
Sudangras	1358,3	6,49	1423,7
Luzerne	405,2	2,58	552,8
Ackergras	833,9	1,06	377,9
Kartoffel	877,3	4,25	940,0
Lupine	136,8	1,91	383,4
Miscanthus	694,2	3,68	837,4
Raps	1437,3	6,08	1398,1
Roggen	821,1	3,79	852,5
Triticale	960,5	3,57	857,8
Sonnenblume	568,7	2,23	558,2
Sojabohne	266,0	3,70	748,0
Zuckerrübe	1164,6	5,29	1245,1
Landsberger Gemeinde	551,7	3,56	749,9

6.1.6.2. Pflanzenschutzmittelaufwand

Zur Steigerung des Ertrages sind bei den meisten Ackerkulturen, vor allem aber solchen zur Erzeugung von Marktfrüchten, Pflanzenschutzmittel in Form von Herbiziden, Fungiziden, Pestiziden etc. nötig. Werden diese nicht angewandt, kommt es zu erheblichen Qualitäts- und Ertragseinbußen. Da der Flächenertrag für die wirtschaftliche Produktion von Biogassubstrat von entscheidender Bedeutung ist, kommt man meist nicht um den Einsatz solcher Mittel umhin. Ausnahmen sind die Mischkulturen Landsberger Gemeinde und Ackergras, sowie schnellwachsende und mehrjährige Kulturen, die das Unkraut im nötigen Ausmaß unterdrücken können (Luzerne, Miscanthus). Für die Getreidearten Roggen und Triticale wird entgegen den Angaben des Standarddeckungsbeitragskataloges kein Pflanzenschutz angenommen, da die Verunkrautung das Wachstum und den Ertrag nicht hemmt.

Die Aufwandmengen an Pflanzenschutzmitteln wurden aus dem Standarddeckungsbeitragskatalog 2002/03 (Bundesministerium FLUW 2002) entnommen. Für Kulturen, bei denen hier keine Angaben zu finden waren, wurden die Experten der BLT – Wieselburg befragt (Tabelle 23). Daraus ergeben sich Umweltwirkungen laut Tabelle 24.

Tabelle 23: Pflanzenschutzmitteleinsatz je Hektar bei den Energiepflanzen

Kulturpflanze	Pflanzenschutzmitteleinsatz [kg / ha]			
	Herbizide	Fungizide	Insektizide	Molluskizide
Mais	1,55	0	0	0
Sudangras	1,55	0	0	0
Luzerne	0	0	0	0
Ackergras	0	0	0	0
Kartoffel	2,5	7	0,3	0
Lupine	0	0	0	0
Miscanthus	0	0	0	0
Raps	3	0,5	0,4	3
Roggen	0	0	0	0
Triticale	0	0	0	0
Sonnenblume	4,5	0	0	0
Sojabohne	1,5	0	0	0
Zuckerrübe	3,6	1	0	0
Landsberger Gemenge	0	0	0	0

Tabelle 24: Umweltwirkungen pro kg Pflanzenschutzmittel

	Umweltwirkungen pro kg Pflanzenschutzmittel		
	CO ₂ – Äquivalent [kg]	SO ₂ – Äquivalent [g]	KEA [kWh]
Herbizide	25,57	42,33	72,0
Fungizide	25,57	42,33	49,0
Insektizide	25,57	42,33	162,0
Molluskizide	25,57	42,33	71,8

Zur Umrechnung auf die Wirkungskategorien „Klimaänderung“ und „Versauerung“ hält „Gemis 4.1“ lediglich gemeinsame Werte der Biozidproduktion bereit. Für die Herstellung dieser Chemikalien geht man also von ähnlichen Umweltemissionen aus. Für den Kumulierten Energieaufwand konnten einzelne Werte für die vier betrachteten Mittelkategorien herausgefunden werden.

Rechnet man diese Werte wiederum mit den Einsatzmengen hoch, so erhält man folgende Wertetafel mit den gesamten betrachteten Umweltwirkungen des Einsatzes von Pflanzenschutzmitteln (Tabelle 25).

Tabelle 25: gesamte Umweltwirkungen des Pflanzenschutzes je Hektar

Kulturpflanze	Umweltwirkungen pro Hektar Anbaufläche		
	CO ₂ – Äquivalent [kg / ha]	SO ₂ – Äquivalent [kg / ha]	KEA [kWh / ha]
Mais	39,64	0,07	111,6
Sudangras	39,64	0,07	111,6
Luzerne	0,00	0,00	0,0
Ackergras	0,00	0,00	0,0
Kartoffel	250,62	0,41	571,6
Lupine	0,00	0,00	0,0
Miscanthus	0,00	0,00	0,0
Raps	176,46	0,29	520,7
Roggen	0,00	0,00	0,0
Triticale	0,00	0,00	0,0
Sonnenblume	115,08	0,19	324,0
Sojabohne	38,36	0,06	108,0
Zuckerrübe	117,64	0,19	308,2
Landsberger Gemenge	39,64	0,07	111,6

6.1.6.3. Treibstoffaufwand

Der dritte wesentliche Inputfaktor bei der ökologischen Bewertung von Energiepflanzen ist der Treibstoffeinsatz. Dieser entsteht entlang des gesamten Prozesses. Die wichtigsten Punkte bei der Pflanzenproduktion sind:

- Saat / Pflanzung
- Bodenbearbeitung
- Pflanzenschutz
- Düngung
- Ernte

Die Daten für den Treibstoffaufwand wurden einer Publikation der Landwirtschaftskammer Schleswig Holstein (HOLZ 2002) entnommen, in der eine detaillierte Aufstellung durchschnittlichen Treibstoffverbrauchs pro Arbeitsgang zu finden ist.

Die Art der Arbeitsgänge konnte aus dem „Ergänzungsheft 1“ des StDB – Katalog 2002/03 entnommen, beziehungsweise in Gesprächen mit Mitarbeitern der BLT – Wieselburg eruiert werden (Tabelle 26). Die komplette Auflistung dieser Arbeitsgänge ist im Anhang 11 zu finden.

Tabelle 26: Treibstoffeinsatz je Hektar bei den Energiepflanzen

Kulturpflanze	Treibstoffeinsatz [l / ha]				
	Bodenb.	Düngung	Pflanzens.	Saat+Ernte	Gesamt
Mais	52,2	2,3	2	37,5	94,0
Sudangras	56,3	2,0	2	42,5	102,8
Luzerne	14,1	3,0	0	46,5	63,6
Ackergras	14,1	1,1	0	46,5	61,7
Kartoffel	52,2	1,6	14	138,1	205,9
Lupine	69,0	1,1	0	21,5	91,6
Miscanthus	4,0	2,0	0	36,8	42,8
Raps	43,6	2,5	8	21,5	75,6
Roggen	56,3	1,6	0	21,5	79,4
Triticale	56,3	1,8	0	21,5	79,6
Sonnenblume	69,0	1,6	6	42,5	119,1
Sojabohne	69,0	1,8	2	21,5	94,3
Zuckerrübe	67,2	2,8	6	51,0	127,0
Landsberger Gemenge	14,1	1,3	0	46,5	61,9

Für die Berechnung der gesamten Schadstoffemissionen und des Ressourcenverbrauchs bei der Verbrennung von Treibstoff in einem landwirtschaftlichen Dieselmotor gibt „Gemis 4.1“ Angaben wie in Tabelle 27 zusammengefasst.

Tabelle 27: Umrechnungsfaktoren für den Treibstoffeinsatz

	Umweltwirkung pro kWh Energieinput		
	CO ₂ -Äquivalent [g / ha]	SO ₂ -Äquivalent [g / ha]	KEA [kWh / ha]
Output/ kWh	310,54	2,99	1,12
	Umrechnung von Liter Treibstoff in kWh Energieinput		
Dichte	830 [g / l Diesel]		
Heizwert	42,62 [MJ / kg Diesel]		
Energiedichte	35,37 [MJ / l Diesel]		
	9,83 [kWh / l Diesel]		

Daraus ergibt sich folgende Aufstellung der Umweltwirkungen pro Wirkungskategorie (Tabelle 28).

Tabelle 28: Gesamte Umweltwirkungen des Treibstoffeinsatzes je Hektar

Kulturpflanze	Umweltwirkungen pro Hektar Anbaufläche		
	CO ₂ -Äquivalent [kg / ha]	SO ₂ -Äquivalent [kg / ha]	KEA [kWh / ha]
Mais	286,84	2,77	1035,62
Sudangras	313,69	3,02	1132,57
Luzerne	194,07	1,87	700,70
Ackergras	188,27	1,82	679,76
Kartoffel	628,29	6,06	2268,45
Lupine	279,51	2,70	1009,18
Miscanthus	130,60	1,26	471,54
Raps	230,69	2,22	832,90
Roggen	242,29	2,34	874,77
Triticale	242,90	2,34	876,97
Sonnenblume	363,43	3,50	1312,15
Sojabohne	287,75	2,77	1038,92
Zuckerrübe	387,53	3,74	1399,19
Landsberger Gemenge	188,88	1,82	681,97

6.1.6.4. Nicht berücksichtigte Faktoren

Maschineneinsatz

Wie sich bei der Bewertung des Maschineneinsatzes im Vergleich der verschiedenen Kulturpflanzen zeigt, sind die Unterschiede nur sehr gering, da der größte Teil der anfallenden Arbeitsgänge gleich ist (Düngung, Pflanzenschutz, Saat, Ernte, Transport) und nur in relativ geringem Umfang variiert. Speziell die Bewirtschaftung von Energiepflanzen zeigt kaum unterschiedliche Verfahren, zum Beispiel ist die Erntetechnik ähnlich und hauptsächlich von der Ertragsleistung der jeweiligen Pflanze abhängig.

Zusätzlich ist noch zu bemerken, dass viele Maschinen nach einigen Jahren neu angeschafft werden, unabhängig von den Betriebsstunden und der Auslastung. Da der Einsatz also nicht zwingend einen Unterschied in der Maschinenanschaffung macht, kann er auch nicht spezifisch umgelegt werden.

Aus diesen Gründen wird bei dieser Ökobilanz von der Bewertung des Maschineneinsatzes abgesehen. Lediglich der Treibstoffeinsatz wird berücksichtigt, da dieser direkt zuordenbar ist und größere Unterschiede zeigt.

Arbeitseinsatz

Auch der Einsatz von Personal verursacht Umweltwirkungen aufgrund von Versorgung, spezieller Arbeitskleidung etc. Die tatsächlichen Mehremissionen pro Arbeitsstunde können aber erstens kaum festgestellt und zugeordnet werden und belaufen sich zweitens auf minimale Wirkungen, die vernachlässigt werden können.

6.1.6.5. Gesamtaufstellung

Nachdem sämtliche Daten der einzelnen Faktoren auf die drei ausgewählten Wirkungskategorien umgerechnet wurden, können nun die Umweltwirkungen konsolidiert werden und eine Gesamtaufstellung in Form einer Wertetabelle gegeben werden (Tabelle 29).

Tabelle 29: gesamte Umweltwirkungen je Hektar bei den Energiepflanzen

Kulturpflanze	Umweltwirkungen pro Hektar Anbaufläche		
	CO ₂ -Äquivalent [kg / ha]	SO ₂ -Äquivalent [kg / ha]	KEA [kWh / ha]
Mais	1563,094	7,427	2258,034
Sudangras	1711,613	9,576	2667,839
Luzerne	699,242	4,453	1253,522
Ackergras	1022,125	2,877	1057,613
Kartoffel	1756,214	10,723	3780,071
Lupine	416,276	4,604	1392,599
Miscanthus	824,767	4,940	1308,982
Raps	1844,468	8,599	2751,678
Roggen	1063,402	6,123	1727,264
Triticale	1203,382	5,915	1734,729
Sonnenblume	1047,208	5,929	2194,310
Sojabohne	592,092	6,534	1894,920
Zuckerrübe	1669,745	9,218	2952,498
Landsberger Gemeinde	740,588	5,378	1431,904

6.1.7. Wirkungsabschätzung

In dieser Phase der Ökobilanz wird die Beurteilung der Bedeutung potenzieller Umweltwirkungen mit Hilfe der Ergebnisse der Sachbilanz angestrebt. Im Allgemeinen werden in diesem Schritt Sachbilanzdaten spezifischen Umweltwirkungen zugeordnet und es wird versucht, die hieraus resultierenden potenziellen Wirkungen zu erkennen. Die Ausführlichkeit, die Auswahl der zu beurteilenden Wirkungen und die anzuwendenden Methoden hängen vom Ziel und Untersuchungsrahmen der Studie ab.

Die in der Sachbilanz aufgeführten ermittelten Umweltwirkungen müssen, um sie ordnungsgemäß und objektiv vergleichen zu können auf die, unter Punkt 2.4. definierte Funktionelle Einheit herunter gebrochen werden. Dafür ist es zuerst notwendig, für jede einzelne Kultur festzustellen, wie hoch der Energieoutput (kWh_{gesamt}) ist.

Hauptinflussfaktor darauf ist das Ertragspotenzial der jeweiligen Pflanze (Tabelle 30). Dabei wurden österreichische Durchschnittswerte verwendet, die von der BLT – Wieselburg übernommen wurden, die auf diesem Gebiet über Praxiserfahrung und das entsprechende Datenmaterial verfügen (Siehe Kapitel 4 „Verfügbarkeit von Energiepflanzen“. Innerhalb Österreichs gibt es starke Schwankungen was den Hektarertrag einer Pflanze betrifft. Diese sind vor allem auf geografische Unterschiede, wie Geländeformationen und Bodenarten, sowie auf kleinklimatische Gegebenheiten zurückzuführen. Auf diese regionalen Unterschiede wird in dieser Ökobilanz allerdings keine Rücksicht genommen, da vor allem ein allgemeiner Überblick gegeben werden soll, der gesamtösterreichisch als Anhaltspunkt

herangezogen werden kann. Auch der Aufwand zur Ermittlung all dieser relevanten Daten würde unverhältnismäßig zum Nutzen steigen.

Tabelle 30: Ertragspotenzial der unterschiedlichen Energiepflanzen

Kulturpflanze	Ertragspotential [kg TS / ha]
Mais	12.000
Sudangras	15.000
Luzerne	10.500
Ackergras	13.000
Kartoffel	18.000
Lupinie	2.700
Miscanthus	17.500
Raps	3.300
Roggen	4.500
Triticale	6.000
Sonnenblume	7.000
Sojabohne	3.000
Zuckerrübe	22.500
Landsberger Gemenge	6.000

Die Ertragsangaben beziehen sich auf den Ertrag an Trockensubstanz pro Hektar. Da anorganische Bestandteile allerdings nicht vergoren werden können, müssen diese vom Ertrag abgezogen werden. Dies geschieht durch die Einbeziehung des Faktors „organische Trockensubstanz“ (oTS), wofür es in der Literatur spezifische Werte für die einzelnen Energiepflanzen gibt. Die in dieser Arbeit verwendeten Daten stammen vom Institut für angewandte Mikrobiologie der Universität für Bodenkultur in Wien.

Als weiterer Faktor muss die spezifische Gasausbeute berücksichtigt werden, welche angibt, wie viel Methan (in m³) pro kg oTS produziert werden kann. Auch hier gibt es Werte, die für die jeweiligen Pflanzen verschieden sind, sie bewegen sich um zirka 0,3 m³ CH₄ pro kg oTS. Bei einigen wenigen Pflanzen musste von einem Mittelwert ausgegangen werden, da aufgrund von fehlender Erfahrung noch keine exakten Werte vorhanden sind.

Sind alle diese Faktoren erhoben und ein Energieinhalt von etwa 10 kWh pro m³ CH₄ berücksichtigt, muss noch eine Annahme über den Wirkungsgrad der Anlage zur Stromerzeugung getroffen werden. In dieser Ökobilanz wurde von einem Gesamtwirkungsgrad (thermisch und elektrisch) von 90 % ausgegangen.

Tabelle 31: Berechnung der Funktionellen Einheit

Kulturpflanze	Ertrag [kg TS/ha]	[kg oTS/kg TS]	Spez. Gasertrag [m ³ CH ₄ /kg oTS]	Energieausbeute [kWh/ha]
Mais	12.000	0,957	0,3136	32.412
Sudangras	15.000	0,936	0,2590	32.727
Luzerne	10.500	0,866	0,3205	26.228
Ackergras	13.000	0,907	0,2950	31.305
Kartoffel	18.000	0,934	0,3558	53.835
Lupinie	2.700	0,880	0,3000	6.415
Miscanthus	17.500	0,880	0,3000	41.580
Raps	3.300	0,827	0,3608	8.862
Roggen	4.500	0,894	0,3480	12.600
Triticale	6.000	0,880	0,3500	16.632
Sonnenblume	7.000	0,878	0,2114	11.693
Sojabohne	3.000	0,880	0,3000	7.128
Zuckerrübe	22.500	0,722	0,2219	32.443
Landsberger Gemenge	6.000	0,887	0,3125	14.968

Wie aus Tabelle 31 hervorgeht, steigt der Variationsfaktor von Faktor 8 auf 9, die Ertragsunterschiede steigen also durch die Berechnung der Energieausbeute weiter an.

Im nächsten Schritt sollen die ermittelten Umweltwirkungen aus Kapitel 3.6. auf die eben bestimmte funktionelle Einheit bezogen werden. Dies geschieht, indem jeder einzelne Wert aus der Gesamtaufstellung der Sachbilanz, durch die spezifische Energieausbeute der jeweiligen Kultur dividiert wird. Dadurch erhält man die endgültig und objektiv vergleichbare Umweltauswirkung in Gramm CO₂- bzw. SO₂-Äquivalent pro kWh Energieoutput, und den KEA in Wh pro kWh Energieoutput (Tabelle 32).

Tabelle 32 Umweltwirkungen bezogen auf die Funktionelle Einheit

Kulturpflanze	Umweltwirkung pro kWh Energieoutput		
	CO ₂ [g / kWh]	SO ₂ [g / kWh]	KEA [Wh / kWh]
Mais	48,23	0,23	69,67
Sudangras	52,30	0,29	81,52
Luzerne	22,85	0,17	47,79
Ackergras	32,65	0,09	33,78
Kartoffel	32,62	0,20	70,22
Lupinie	64,89	0,72	217,07
Miscanthus	19,84	0,12	31,48
Raps	208,13	0,97	310,51
Roggen	84,40	0,49	137,08
Triticale	72,35	0,36	104,30
Sonnenblume	89,56	0,51	187,65
Sojabohne	83,07	0,92	265,84
Zuckerrübe	51,47	0,28	91,01
Landsberger Gemenge	49,48	0,36	95,66

6.1.8. Auswertung

Die Auswertung ist jene Phase der Ökobilanz, bei der die Ergebnisse der Sachbilanz und der Wirkungsabschätzung entsprechend dem festgelegten Ziel und dem Untersuchungsrahmen der Ökobilanz zusammengefasst werden oder, im Falle von Sach-Ökobilanz-Studien, nur die Ergebnisse der Sachbilanz herangezogen werden, um Schlussfolgerungen und Empfehlungen zu geben.

Die in den Kapiteln 6.1.6. und 6.1.7 behandelten Wertetabellen sind noch relativ unübersichtlich und verlangen eine genauere Analyse, um Schlussfolgerungen ziehen zu können. Daher sollen die wichtigsten Ergebnisse in Diagrammen veranschaulicht werden und so auf einen Blick die Resultate hervorheben.

6.1.8.1. CO₂-Äquivalent

Auch ohne Diagramm ist bei dieser Umweltwirkung sofort am Datensatz zu sehen, dass der Raps eine außerordentlich hohe Emissionsrate aufweist. Um auch die anderen Energiepflanzen zu beurteilen, ist es allerdings einfacher, Abbildung 32 heranzuziehen:

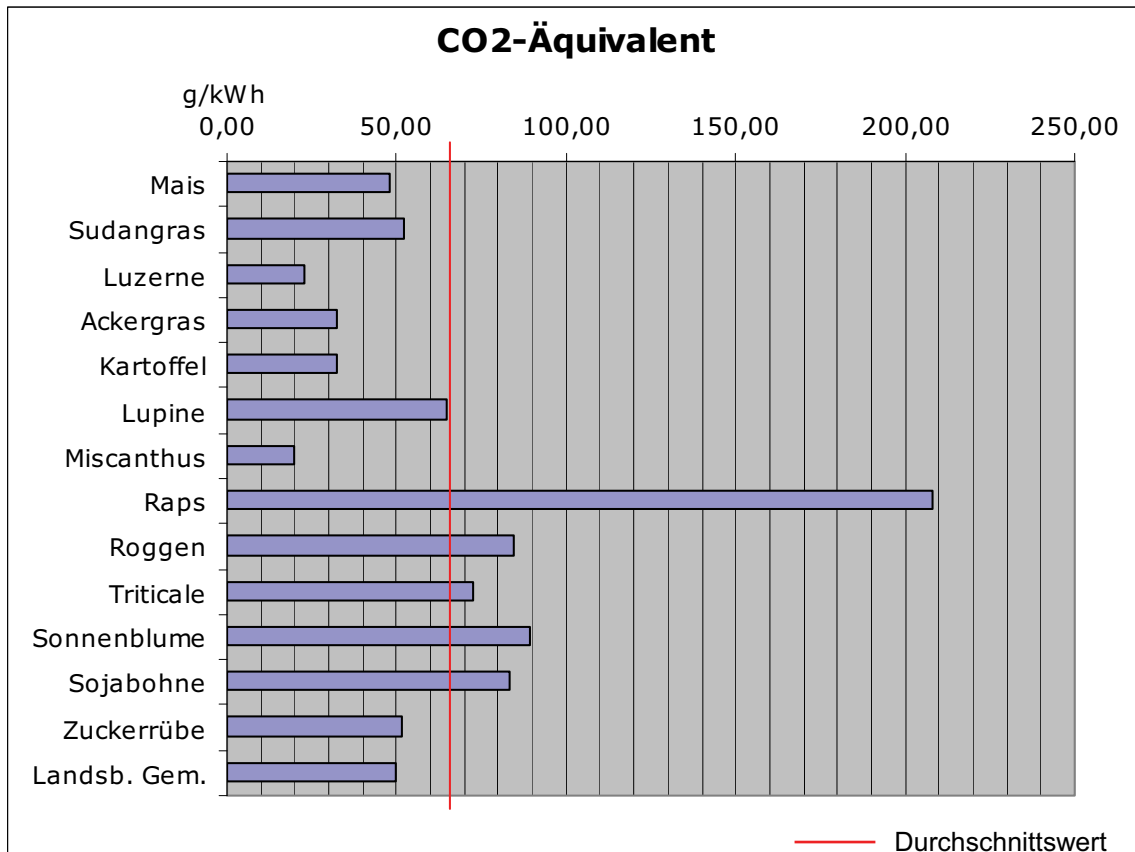


Abbildung 32: gesamte CO₂-Äquivalentien der einzelnen Energiepflanzen

Während die Emissionen von Lupine, Roggen, Triticale, Sonnenblume und Sojabohne nur knapp über dem Durchschnittswert von 65,1 g/kWh liegen, übertrifft Raps diese um etwa das Doppelte. In positiver Hinsicht heben sich vor allem Luzerne und Miscanthus hervor, die zirka ein Drittel des Durchschnittswerts an Emissionen aufweisen, auch Mais, Sudangras, Ackergras, Kartoffel, Zuckerrübe und Landsberger Gemenge liegen aber deutlich unter dem Durchschnitt.

6.1.8.2. SO₂-Äquivalent

Im Falle der Versäuerung gibt es nicht einen einzelnen Ausreißer, wie wir es oben gesehen haben, vielmehr sind die Unterschiede im Allgemeinen größer. Wiederum ist Raps am obersten Ende der Skala zu finden, fast ebensoviele SO₂-Emissionen verursacht aber auch die Kultivierung der Sojabohne, dicht gefolgt von der Lupine. Ackergras und Miscanthus schneiden bei dieser Bewertung mit Abstand am besten ab (Abbildung 33).

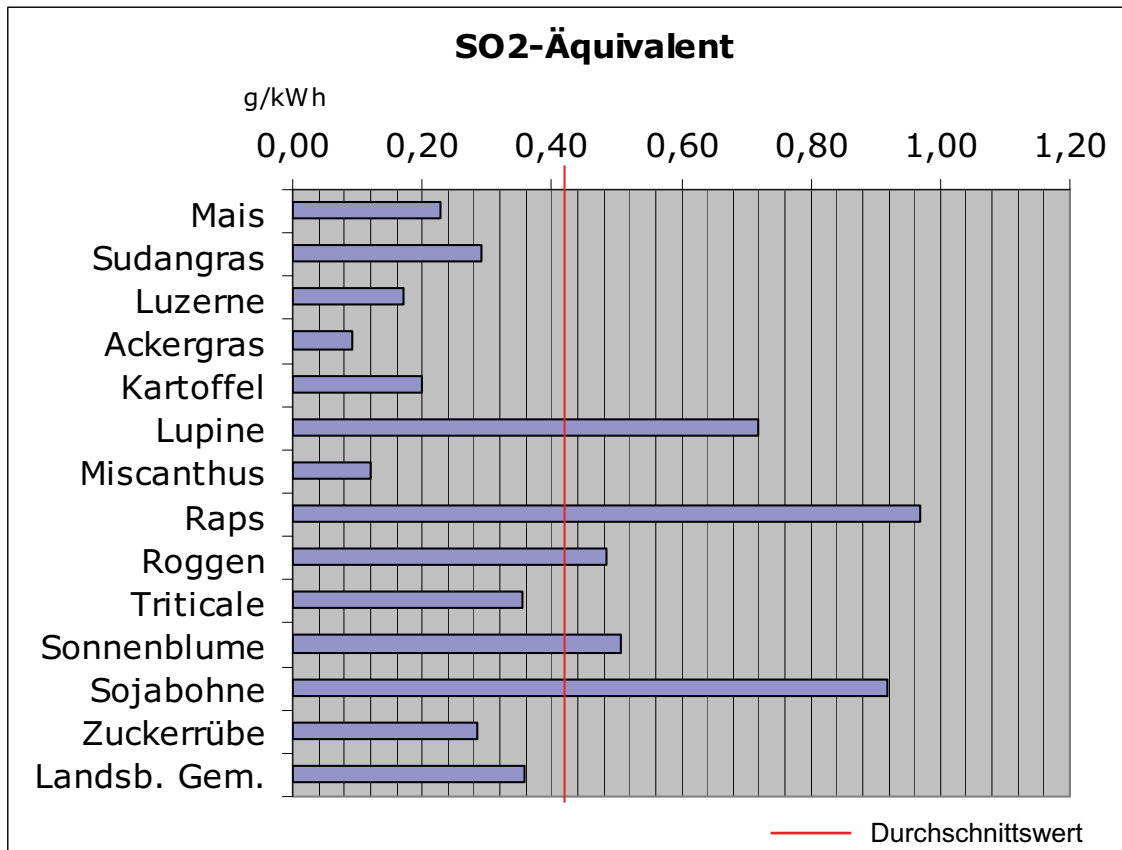


Abbildung 33: Gesamte SO₂-Äquivalentien der einzelnen Energiepflanzen

Die Getreidearten, das Landsberger Gemenge, sowie die Sonnenblume liegen um den Durchschnitt von 0,42 g/kWh.

Im Allgemeinen kann gesagt werden, dass die Bewertung des Versäuerungspotenzials ähnlich ausfällt wie beim Potenzial zur Klimaänderung. Bedeutendste Unterschiede sind die Emissionswerte von Lupine und Sojabohne, die hier im Vergleich bedenklich schlechtere Zahlenwerte aufweisen. Daran ist auch zu erkennen, dass die Ursache der Emissionen bei Lupine und Sojabohne auf der einen Seite und bei Raps auf der anderen Seite verschieden sind. Betrachtet man die Sachbilanz, fällt auf, dass Lupine und Sojabohne hohe Treibstoffeinsatzmengen benötigen, Raps hingegen vor allem einen hohen Düngereinsatz voraussetzt. Alle 3 Pflanzenarten weisen darüber hinaus relative geringe Erträge/ha auf, die sich sehr negativ auf die Bewertungsergebnisse auswirken.

6.1.8.3. Kumulierter Energieaufwand

Das Bild, das sich hier zeigt, ist sehr ähnlich dem des Versäuerungspotenzials. Einzig die Sonnenblume fällt besonders auf, da sie, was den Ressourcenverbrauch in Form des kumulierten Energieaufwandes betrifft, den Durchschnittswert von 130,7 Wh/kWh stark übersteigt. Der Grund dafür könnte im sehr hohen Bedarf an Herbiziden gesehen werden, der den aller anderen Energiepflanzen um mindestens ¼ übersteigt (Abbildung 34).

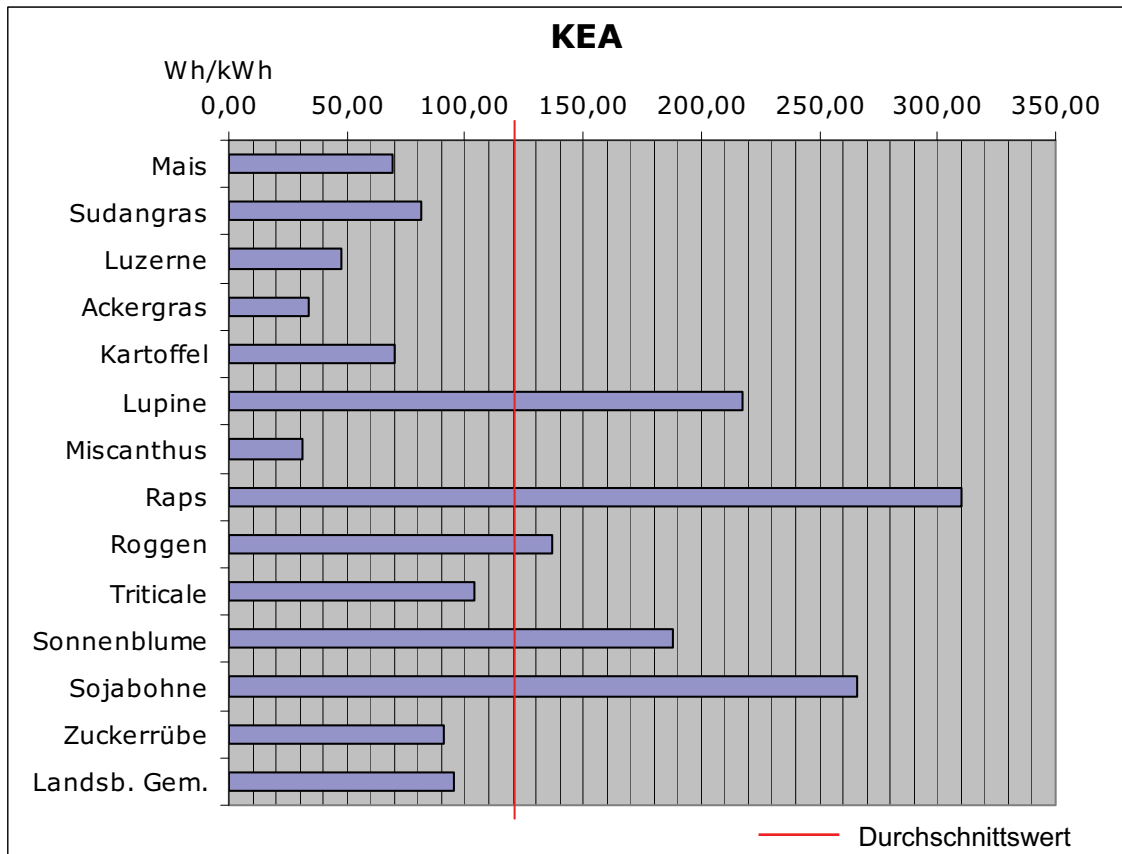


Abbildung 34: gesamter KEA der einzelnen Energiepflanzen

Was die restlichen Pflanzen betrifft, so haben wiederum Raps, Sojabohne und Lupine die stärksten negativen Umweltauswirkungen, während Miscanthus, Ackergras und Luzerne am besten abschneiden.

Sehr deutlich sieht man in dieser Graphik auch die Tatsache, dass die, bei der Vergärung und energetischen Verwertung frei werdende Gesamtenergie (elektrisch + thermisch) nur in etwa dreimal so groß wie der direkte und indirekte Input ist. Wird die Wärme nicht genutzt, so kann es mitunter sein, dass der Prozess ohne Energiegewinn abläuft. Da die Anlage aber trotzdem gebaut werden muss, wäre die Energiebilanz in diesem Falle negativ!

6.1.9. Interpretation

Aus den Einzelbewertungen lässt sich ein eindeutiger Trend ablesen, da die Resultate der drei Wirkungskategorien, trotz gewisser Unterschiede, immer wieder ein ähnliches Bild aufweisen. Zur besseren Übersicht ein Diagramm (Abbildung 35), auf dem die ausgewählten Umweltwirkungen gemeinsam veranschaulicht sind.

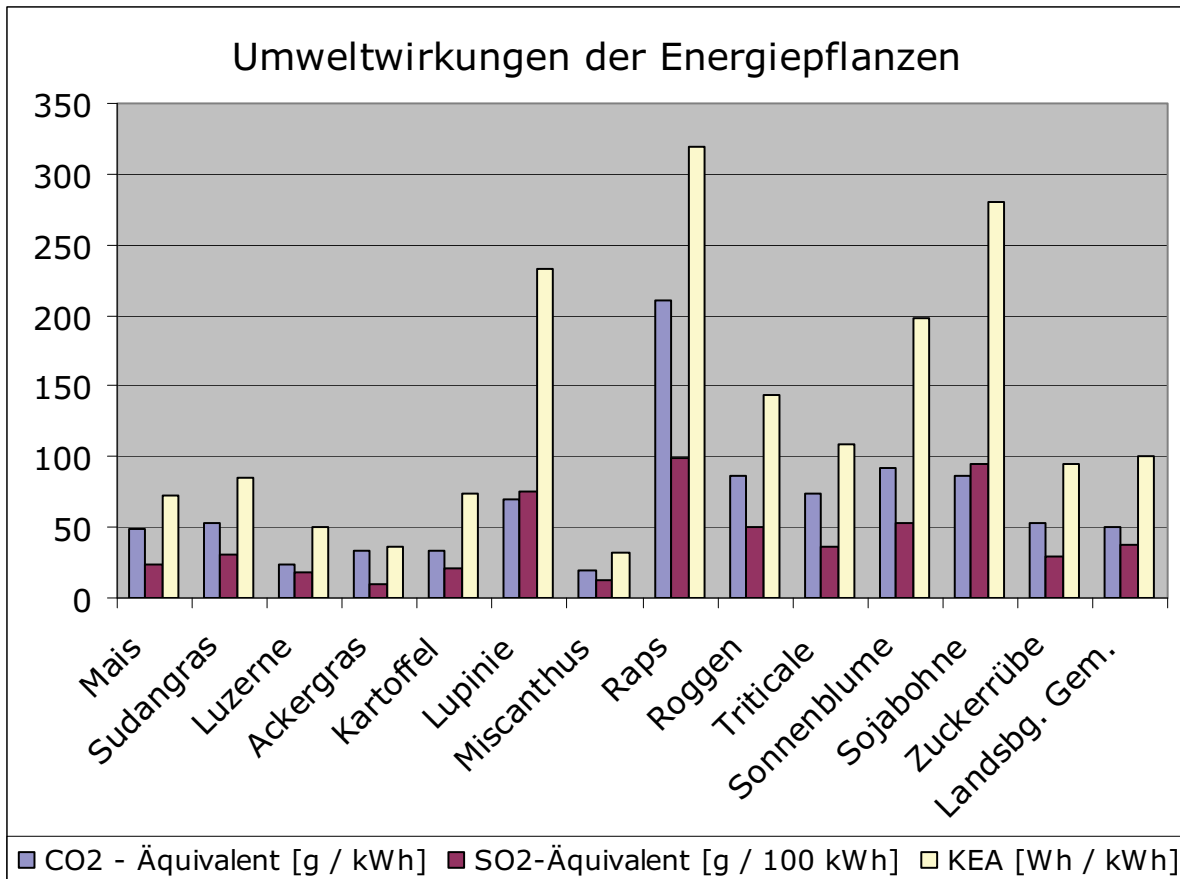


Abbildung 35: gesamte Umweltwirkungen der Energiepflanzen

Richtet man nun die Auswahl der zur Biogasproduktion verwendeten Kulturpflanzen rein nach den hier aufgeführten ökologischen Aspekten, so lassen sich eindeutige Empfehlungen ablesen:

- Der Anbau von Raps ist wohl die Variante mit den größten negativen Umweltwirkungen, zeichnet er sich doch bei allen drei eingesetzten Wirkungskategorien mit Abstand als schlechteste Möglichkeit ab.
- Sojabohne und Lupine stehen dem Raps, vor allem was das SO₂-Äquivalent und den KEA betrifft, kaum nach und sind daher auch eher abzulehnen.
- Die Sonnenblume schneidet im Allgemeinen etwas besser ab, überschreitet aber auch in allen Wirkungskategorien deutlich den Durchschnittswert.
- Die Spitzenreiter, sprich, die Pflanzen, welche die geringsten Emissionen verursachen sind eindeutig Miscanthus, Ackergras und Luzerne. Problematisch ist zwar, nach dem derzeitigen Stand der Dinge, die technologische Seite an der Biogas- Nutzung von Miscanthus, dies soll aber nicht Thema dieser Arbeit sein.
- Mais und Kartoffel schneiden noch sehr gut ab, wobei es bei der Kartoffel aber ebenfalls technologische Probleme gibt, während die Mechanisierung im Maisbau schon weitgehend ausge-reift ist.
- Etwas schlechter, aber immer noch unter dem Durchschnitt zeigen sich Sudangras, Zuckerrü-be und Landsberger Gemenge. Probleme gibt es wiederum bei der Zuckerrübenverarbeitung und Lagerung für die Biogas- Nutzung.
- Zirka beim Durchschnittswert liegen die Getreidearten Roggen und Triticale, wobei letztere aufgrund der höheren Masseerträge etwas besser abschneidet.

6.2. Ökonomische Bewertung

6.2.1. Bedeutung

Die Wirtschaftlichkeit eines Prozesses ist meist, vor allem in der Privatwirtschaft, der hauptsächlich ausschlaggebende Faktor bei Entscheidungsprozessen. So auch in der Landwirtschaft, wo Betriebswirte zunehmend mit einer schwindenden Existenzgrundlage zu kämpfen haben. Durch Billigimporte von Lebensmitteln und anderen landwirtschaftlichen Erzeugnissen, zum Beispiel aus dem Osten, sinken die Preise in Österreich und der Anbau dieser Produkte lohnt sich oft kaum mehr. Die Biogas-Produktion aus Energiepflanzen könnte ein zusätzliches Einkommen für diese Landwirte verheißen, da nun auch auf Stilllegungsflächen gewinnbringende Feldfrüchte produziert werden können. Die Produktion von Energiepflanzen auf guten Standorten hingegen würde teilweise höherwertige Lebensmittelproduktion verdrängen und ist damit oft nicht wirtschaftlich. Um dies aber genauer beurteilen zu können, müssen Berechnungen angestellt werden. Dies wird in diesem Kapitel behandelt und steht für praktische Anwendungen zur Verfügung.

6.2.2. Grundlagen

Die in dieser Arbeit angewandte Methode zur Wirtschaftlichkeitsberechnung ist stark vereinfacht. Sie lehnt sich an den Berechnungen des Deckungsbeitragskataloges an, welche zum Ziel haben, dem Landwirt einen Überblick über die ökonomischen Aspekte des Ackerbaues zu geben. Die Zielgruppen sind vor allem kleinere, pauschalierte Landwirtschaften, da große Betriebe eigene Berechnungen anstellen und so meist selber genauere Vergleiche erstellen können. Vor allem der Umstand, dass diese Berechnung für den gesamten österreichischen Ackerbau als Annäherung Geltung finden soll, legt diese Vorgehensweise nahe. Aufgrund unterschiedlicher Mechanisierung bei der Produktion von Marktfrüchten, auf die die Angaben im StDB-Katalog größtenteils bezogen sind, und der Produktion von Biogassubstrat, mussten einige Modifikationen der Daten vorgenommen werden. Dafür wurde am 25. November 2004 ein Experteninterview mit Mitarbeitern der BLT – Wieselburg durchgeführt, mit dem Ziel, die vorhandenen Daten anzupassen und Angaben für andere Energiepflanzen, für die solche Berechnungen bisher nicht angestellt wurden, zu finden.

Preisanfragen, vor allem für spezielle Erntetechniken, wurden bei Lohnunternehmen durchgeführt, die auf diesem Gebiet bereits Erfahrung sammeln konnten.

Zusätzlich zu den 14 Energiepflanzen, die bereits in der Ökobilanz bewertet wurden, sollen in diesem Kapitel noch Körnermais, Körnerroggen und Körnertriticale in die Bewertung miteinbezogen werden. Obwohl diese Kulturen kaum angebaut werden, wenn es um die Substratproduktion für Biogasanlagen geht, kann es doch für Anlagen und auch Landwirte interessant sein, eventuelle Überschüsse zu Biogas zu vergären. Dabei ist von Interesse, wie es mit der Wirtschaftlichkeit im Vergleich zu typischen Energiepflanzen steht.

6.2.3. Datenaufstellung

Zur Berechnung der Wirtschaftlichkeit wurde von drei möglichen Standpunkten ausgegangen. Mit der Annahme, dass der Landwirt, unabhängig von der Pflanzenart, den selben Erlös pro Kilogramm Substrat bekommt, wurde eine Berechnung mit einem fiktiven Substratpreis von 0,05 € pro kg durchgeführt. Daraus ergibt sich der Deckungsbeitrag, den der Landwirt erzielen kann.

Der zweite Ansatz beruht auf dem Grundsatz, dass der Landwirt über seinen bisherigen Deckungsbeitrag Bescheid weiß. Er möchte wissen, wie hoch der Substratpreis sein muss, um den gleichen Deckungsbeitrag zu erwirtschaften. Hierfür wurden 200 € pro Hektar angenommen, was einem durchschnittlichen landwirtschaftlichen Deckungsbeitrag entspricht.

Die dritte Möglichkeit ist vor allem für Anlagenbetreiber interessant. Hier wird der Preis pro m³ CH₄ errechnet, der umgerechnet bezahlt wird, wenn mit einem fixen Substratpreis abgerechnet wird. Dieser Ansatz ist unkonventionell, da im Normalfall aus Einfachheitsgründen nach geliefertem Substrat bezahlt wird, nicht nach der Ausbeute, obwohl dies genauer und objektiver wäre. Die hier durchgeführte Berechnung stellt allerdings im herkömmlichen Sinne keine Wirtschaftlichkeitsberechnung dar, sondern ist nur als Hilfswerkzeug zur Objektivierung vorhandener Kalkulationen zu sehen.

Die Ergebnisse dieser Berechnung sind hauptsächlich für den Anlagen-Betreiber wichtig, aber auch der Rohstofflieferant kann seinen Nutzen daraus ziehen.

Es wurden also drei Berechnungen durchgeführt:

- Substratpreis (0,05 € / kg) als Ausgangspunkt
- Deckungsbeitrag (200 € / ha) als Ausgangspunkt
- Preis pro m³ CH₄ bei gleich bleibendem Substratpreis (0,05 € / kg)

In Absprache mit den Experten der BLT – Wieselburg wurde eine durchschnittliche staatliche Kulturpflanzenausgleichszahlung von 350 € pro Hektar angesetzt. Diese wird unabhängig von der Bewirtschaftung bezahlt und kann daher in jedem Fall als Einnahme geltend gemacht werden.

6.2.3.1. Allgemeingültige Faktoren

Obwohl diese beiden Berechnungsansätze verschiedene Hintergründe haben und auch die Ergebnisse völlig verschieden aussehen, sind doch die meisten Daten gleich, da der Mitteleinsatz in jedem Falle gleich bleibt. Die Unterschiede liegen nur im Ziel der Berechnung, nicht in den Grundlagen.

Erträge

Als Ertragswerte (Tabelle 33) werden die selben Werte herangezogen wie in der ökologischen Beurteilung (Kapitel 6.1.7 „Wirkungsabschätzung“, Tabelle 30). Für die zusätzlichen Kulturpflanzen wurden Erfahrungsdaten der BLT – Wieselburg herangezogen.

Tabelle 33: Ertragswerte incl. zusätzlicher Energiepflanzen

Kulturpflanze	Ertragspotenzial [kg TS / ha]
Silomais	12.000
Körner – Mais	8.500
Sudangras	15.000
Luzerne	10.500
Ackergras	13.000
Kartoffel	18.000
Lupinie	2.700
Miscanthus	17.500
Raps	3.300
Roggen GPS	8.000
Körner – Roggen	4.000
Triticale GPS	8.000
Körner – Triticale	5.000

Kulturpflanze	Ertragspotenzial [kg TS / ha]
Sonnenblume	7.000
Sojabohne	3.000
Zuckerrübe	22.500
Landsberger Gemenge	6.000

6.2.3.2. Variable Kosten

Die variablen Kosten in Euro werden in Tabelle 34 aufgeführt. Wie bereits erwähnt, werden in dieser Bewertung nur variable, keine fixen Kosten berechnet. Dies liegt daran, dass die fixen Kosten der Landwirtschaft nur schwer der jeweiligen Position zugeordnet werden können. Um trotzdem auf Kostenwahrheit zu kommen, wurde weiters mit einer Ernte über ein Lohnunternehmen gerechnet. Auf einem durchschnittlichem landwirtschaftlichen Betrieb ist zwar der Großteil der Mechanisierung für Bodenbearbeitung, Pflanzenschutz, etc. vorhanden, spezielle Erntemaschinen müssten aber meist angeschafft werden, bzw. müssten diese Arbeitsgänge überbetrieblich erledigt werden.

Tabelle 34: Variable Kosten des Energiepflanzenbaues in Euro

Kulturpflanzen	Saatgut	Pflanzenschutz	Hagelversicherung	Variable Maschi- nenkosten	Lohnernte	Transport (10 km)	Trocknung	Gesamt – VK
Silomais	155	60	17	242	150	263	0	887
Körner – Mais	145	60	17	146	110	263	345	1086
Sudangras	155	60	17	250	150	351	0	983
Luzerne	120	0	17	27	187	263	0	614
Ackergras	120	0	0	44	150	351	0	665
Kartoffel	420	190	17	334	212	351	0	1524
Lupine	59	46	17	93	170	175	0	560
Miscanthus	100	5	17	19	285	351	0	791
Raps	53	143	17	250	170	175	0	808
Roggen GPS	64	0	17	250	170	175	0	676
Körne – Roggen	64	51	17	141	95	175	36	614
Triticale GPS	67	0	17	250	170	175	0	679
Körner – Triticale	67	26	17	141	95	175	36	557
Sonnenblume	120	82	17	154	170	263	0	806
Sojabohne	145	60	17	141	170	175	0	708
Zuckerrübe	160	270	17	285	300	351	16	1399
Landsberger Gemenge	67	0	0	141	187	175	0	570

Die Maschinenkosten wurden im Allgemeinen aus dem „Ergänzungsheft 1“ zum Standarddeckungsbeitragskatalog entnommen. Preise für die Ernte stammen vom Maschinenring Kirchschatz (MITTER 2005), Transportkosten und Ernte bei Miscanthus wurden bei der Humer Günter Ges.n.b.R. erhoben.

Substratpreis als Ausgangspunkt

Der Ansatz, den Substratpreis als Ausgangspunkt zu nehmen, ist leicht nachzuvollziehen und die typische Herangehensweise. Bei konventionellen Marktfrüchten sind Preise bzw. Preisverläufe bekannt und können jederzeit erfragt werden. Daher ist es normal, sich bei Wirtschaftlichkeitsberechnungen auf die jeweiligen Preise der zu vergleichenden Kulturen zu stützen. Im Falle der Substratproduktion für Biogas-Anlagen ist dies aber anders, weil der Anlagenbetreiber keine Unterschiede in der Art des Substrats machen wird. Abgesehen von einer bestimmten Grundvoraussetzung in Sachen Qualität ist der ausschlaggebende Faktor die Quantität, also die Menge des gelieferten Materials. Der Landwirt kann also davon ausgehen, dass er den selben Betrag pro Kilogramm bekommt, unabhängig von der produzierten Pflanzenart.

Dieser Umstand vereinfacht diese Art der Berechnung. Anstatt die marktüblichen Preise zu ermitteln, kann immer derselbe Wert angenommen werden. In dieser Arbeit wird von 0,05 € pro kg, oder 50 € pro t ausgegangen. Dieser Wert ist ein theoretischer Mittelwert, in der angestellten Berechnung könnte auch jeder andere Wert eingegeben werden, je nach der Bezahlung durch den Anlagenbetreiber.

Da nun alle Faktoren zur Berechnung des Deckungsbeitrags bekannt sind, kann bereits die Datentabelle aufgestellt werden. Beim Ergebnis wurden die negativen Werte zum besseren Überblick rot eingefärbt (Tabelle 35).

Tabelle 35: Wirtschaftlichkeit mit Substratpreis von 0,05 € pro kg

Kulturpflanzen	Ertrag	Substratpreis	Rohertrag	Variable Kosten	Kulturpflanzen-Ausgleich	Deckungsbeitrag
Rechengang		*	=	-	+	=
Silomais	12.000	0,05	600	887	350	63
Körner – Mais	8.500	0,05	425	1.086	350	-311
Sudangras	15.000	0,05	750	983	350	117
Luzerne	10.500	0,05	525	614	350	261
Ackergras	13.000	0,05	650	665	350	335
Kartoffel	18.000	0,05	900	1.524	350	-275
Lupine	2.700	0,05	135	560	350	-75
Miscanthus	17.500	0,05	850	791	350	409
Raps	3.300	0,05	165	808	350	-293
Roggen GPS	8.000	0,05	400	676	350	74
Körne – Roggen	4.000	0,05	200	579	350	-29
Triticale GPS	8.000	0,05	400	676	350	74
Körner – Triticale	5.000	0,05	250	554	350	46

Sonnenblume	7.000	0,05	350	806	350	-106
Sojabohne	3.000	0,05	150	708	350	-208
Zuckerrübe	22.500	0,05	1.125	1.399	350	76
Landsberger Gemenge	6.000	0,05	300	570	350	80

Deckungsbeitrag als Ausgangspunkt

Ein zweiter Ansatz zur Wirtschaftlichkeitsberechnung ergibt sich, wenn man den Deckungsbeitrag als gegeben hinnimmt. Hintergrund dabei ist die Überlegung, dass der Landwirt, stellt er seinen Anbau auf die Produktion von Energiepflanzen um, den bisherig erzielten Deckungsbeitrag als Mindestmaß voraussetzt. Er will nicht weniger verdienen als bisher. In die Berechnung fließt also ein bestimmter angenommener Deckungsbeitrag ein, in unserem Beispiel wurden 200 € pro Hektar Anbaufläche gewählt. In das Berechnungssystem kann aber jeder vom Landwirt festgelegte Betrag eingesetzt werden.

Auf der Basis dieses Deckungsbeitrags wird dann jener Preis berechnet, der pro Kilogramm Substrat erzielt werden muss, um ihn zu erreichen. Dies soll dem Landwirt helfen, über Kosten und Nutzen einer Umstellung zu entscheiden. Ihm wird ein ungefährender Anhaltspunkt gegeben und damit eine Verhandlungsbasis, wodurch er in der Vertragsausfertigung mit dem Biogas- Anlagenbetreiber versiert argumentieren kann.

Andererseits kann aber auch der Anlagenbetreiber von der Berechnung profitieren, da er einen besseren Einblick in die Anliegen der Rohstofflieferanten bekommt. Zusätzlich kann er durch den gebotenen Anhaltspunkt bereits vor der Kontaktaufnahme mit den Landwirten Kostenüberschläge anstellen, was ihm wiederum in den späteren Verhandlungen zu Gute kommt.

Bei der folgenden Berechnung wurden jene Ergebnisse, die einen Wert über 0,1 € pro kg (bzw. 100 € pro to) Substrat aufweisen, rot eingefärbt, um sie besser hervorzuheben (Tabelle 36).

Tabelle 36: Wirtschaftlichkeit mit DB von 200 € pro Hektar

Kulturpflanzen	Deckungsbeitrag	Kulturpflanzen- ausgleich	Variable Kosten	Roherttrag	Ertrag	
Rechengang	-	+	=	/	=	
Silomais	200	350	887	737	12.000	0,061
Körner – Mais	200	350	1.086	939	8.500	0,110
Sudangras	200	350	983	833	15.000	0,056
Luzerne	200	350	614	464	10.500	0,044
Ackergras	200	350	665	515	13.000	0,040
Kartoffel	200	350	1.524	1.374	18.000	0,076
Lupine	200	350	560	410	2.700	0,152
Miscanthus	200	350	791	641	17.500	0,038

Raps	200	350	808	658	3.300	0,200
Roggen GPS	200	350	676	526	8.000	0,066
Körne – Roggen	200	350	579	429	4.000	0,107
Triticale GPS	200	350	676	526	8.000	0,066
Körner – Triticale	200	350	554	404	5.000	0,081
Sonnenblume	200	350	806	656	7.000	0,094
Sojabohne	200	350	708	558	3.000	0,186
Zuckerrübe	200	350	1.399	1.249	22.500	0,056
Landsberger Gemeinde	200	350	570	420	6.000	0,070

Preis pro m³ CH₄ bei gleich bleibendem Substratpreis

Wie oben beschrieben, ist diese Art der Berechnung hauptsächlich für den Anlagen- Betreiber interessant, der möglichst genau kalkulieren möchte und für den daher die Kosten des relevanten Energieoutputs in Form des Methans besonders wichtig sind. Auch wenn er vielleicht trotzdem auf keine energiepflanzen-spezifische Bezahlung einsteigt, ist es doch vorteilhaft zu wissen, was er pro m³ Methan bezahlt.

Aber auch der Landwirt kann diese Berechnung nutzen, indem er sie als Verhandlungsbasis mit dem Anlagenbetreiber verwendet, um bei verschiedenen Ausbeuten für differenzierte Preise zu argumentieren. Tabelle 37 stellt den Methanertrag für die ausgewählten Energiepflanzen dar.

Die Werte für die spezifischen Gasausbeuten wurden vom Institut für angewandte Mikrobiologie an der Universität für Bodenkultur Wien erarbeitet und sind im Kapitel 5 „Eignung von Energiepflanzen für die Vergärung“ beschrieben.

Tabelle 37: Methanertrag der einzelnen Energiepflanzen

Kulturpflanze	Ertrag [kg TS/ha]	[kg oTS/kg TS]	Spez. Gasertrag [m³ CH₄/kg oTS]	Methanertrag m³ Ch₄ / ha
Silomais	12.000	0,957	0,3136	3.601
Körner – Mais	8.500	0,957	0,3136	2.551
Sudangras	15.000	0,936	0,2590	3.636
Luzerne	10.500	0,866	0,3205	2.914
Ackergras	13.000	0,907	0,2950	3.478
Kartoffel	18.000	0,934	0,3558	5.982
Lupinie	2.700	0,880	0,3000	713
Miscanthus	17.500	0,880	0,3000	4.488
Raps	3.300	0,827	0,3608	985
Roggen GPS	8.000	0,894	0,3480	2.489
Körner – Roggen	4.000	0,894	0,3480	1.244
Triticale GPS	8.000	0,880	0,3500	2.464
Körner – Triticale	5.000	0,880	0,3500	1.540
Sonnenblume	7.000	0,878	0,2114	1.299
Sojabohne	3.000	0,880	0,3000	792

Zuckerrübe	22.500	0,722	0,2219	3.605
Landsberger Gemeinde	6.000	0,887	0,3125	1.663

Als Ausgangslage wird hier wiederum ein Substratpreis von 0,05 € pro kg angenommen. Berechnet wird der Methanpreis pro m³, der indirekt bezahlt wird, wenn der Substratpreis unabhängig von den Inhaltsstoffen der jeweiligen Kulturpflanze bezahlt wird (Tabelle 38).

Tabelle 38: Preis pro m³ Methan bei gleich bleibendem Substratpreis

Kulturpflanze	Substratpreis [€ / kg]	Methanertrag pro Hektar [m ³ CH ₄ / ha]	Massenertrag [kg TS / ha]	Methanpreis [€ / m ³]
Rechengang		/	*	=
Silomais	0,05	3.601	12.000	0,167
Körner – Mais	0,05	2.551	8.500	0,167
Sudangras	0,05	3.636	15.000	0,206
Luzerne	0,05	2.914	10.500	0,180
Ackergras	0,05	3.478	13.000	0,187
Kartoffel	0,05	5.982	18.000	0,150
Lupinie	0,05	713	2.700	0,189
Miscanthus	0,05	4.488	17.500	0,189
Raps	0,05	985	3.300	0,168
Roggen GPS	0,05	2.489	8.000	0,161
Körner – Roggen	0,05	1.244	4.000	0,161
Triticale GPS	0,05	2.464	8.000	0,162
Körner – Triticale	0,05	1.540	5.000	0,162
Sonnenblume	0,05	1.299	7.000	0,269
Sojabohne	0,05	792	3.000	0,189
Zuckerrübe	0,05	3.605	22.500	0,312
Landsberger Gemeinde	0,05	1.663	6.000	0,180

6.2.4. Auswertung

6.2.4.1. Substratpreis als Ausgangspunkt

Die Preise für landwirtschaftliche Produkte richten sich, genau wie die Preise anderer Produkte am freien Markt, nach Angebot und Nachfrage. Wie hier bereits ausführlich beschrieben wurde, verursachen unterschiedliche Ackerkulturen stark variierende Kosten bei verschiedenen Ernteerträgen. Die Wirtschaftlichkeitsgrenze liegt also bei unterschiedlichen Preisniveaus. Wird allerdings ein hoher Nutzen garantiert, können am Markt auch höhere Preise bezahlt werden.

Geht man nun von einer gleich bleibenden Preislage aus, wird schnell ersichtlich, dass der zu erwartende Deckungsbeitrag zur Deckung der betrieblichen Fixkosten stark schwankt. Wäre die wirtschaftli-

che Situation alleine ausschlaggebend, so könnte anhand eines einzelnen Diagramms eine Entscheidung über die anzubauende Pflanzenkultur getroffen werden.

In der Praxis sieht dies anders aus, da vor allem Standortbedingungen (Boden, Klima, etc.), die zu massiven Ertragseinbußen führen können, wesentliche Faktoren darstellen. Zwischen den zur Entscheidung stehenden, sinnvollen Pflanzenalternativen kann jedoch sehr wohl mittels einer einfachen Deckungsbeitragsberechnung die Wirtschaftlichkeit angenähert und somit eine Teilentscheidung getroffen werden.

In Abbildung 36 werden die bei gleich bleibendem Substratpreis zu erwirtschaftenden Deckungsbeiträge der 17 in Betracht gezogenen Energiepflanzen veranschaulicht.

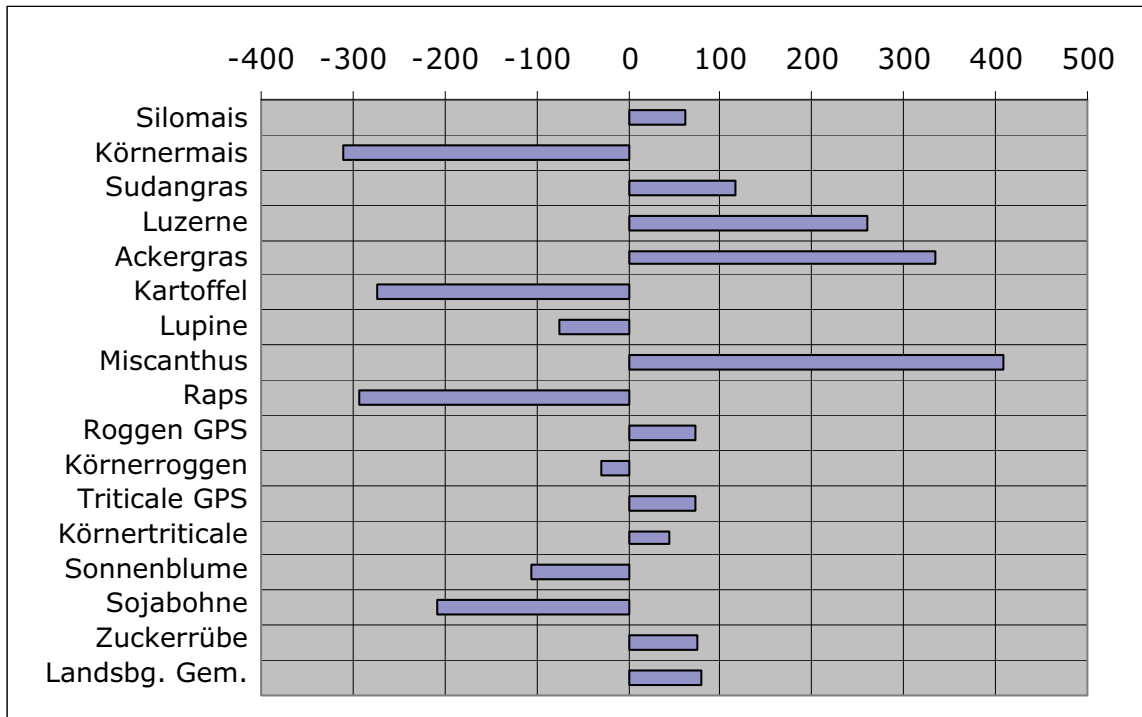


Abbildung 36: Deckungsbeitrag bei gleich bleibendem Substratpreis (0,05 € / kg)

Dem Betrachter fällt sofort die große Streuung der Daten ins Auge, die einen Unterschied, vom höchsten zum niedrigsten Wert, von mehr als 700 € ausmachen. Der Durchschnitt aller angeführten Energiepflanzen liegt mit 14 € pro Hektar nur knapp im positiven Bereich. Da jedoch auf landwirtschaftlichen Betrieben mit nicht unwesentlichen Fixkosten zu rechnen ist, wird die tatsächliche Wirtschaftlichkeitsgrenze bei den meisten Betrieben höher anzusiedeln sein, was den größten Teil der Energiepflanzen nicht empfehlenswert macht.

Laut diese Auswertung sind vor allem Miscanthus, Ackergras und Luzerne zu favorisieren, bedingt auch das Sudangras, mit Deckungsbeiträgen zwischen 100 und 400 € pro Hektar Anbaufläche.

Körnermais, Raps, Kartoffel und Sojabohne sind vom wirtschaftlichen Standpunkt für diese Zwecke abzulehnen, aber auch Sonnenblume, Lupine und Körnerroggen haben deutlich negative Deckungsbeiträge und sind daher höchstens unter speziellen, hier nicht zu beurteilenden Umständen als anbauwürdig einzustufen.

6.2.4.2. Deckungsbeitrag als Ausgangspunkt

Ist der Substratpreis noch nicht ausgehandelt, kann es von Interesse sein zu erörtern, ab welchem Substratpreis man mit einem Deckungsbeitrag rechnen kann, der dem bisherigen entspricht. Diese Preise entsprechen somit den Grenzpreisen, wann der Umstieg auf die jeweilige Energiepflanze zur Biogaserzeugung wirtschaftlich sinnvoll ist.

In diesem Beispiel wurde von einem erwirtschaftetem Deckungsbeitrag von 200 € pro Hektar Anbaufläche ausgegangen, was in etwa einem österreichischen Durchschnitt entspricht.

In Abbildung 37 sind die angesprochenen Substratgrenzpreise aufgeführt.

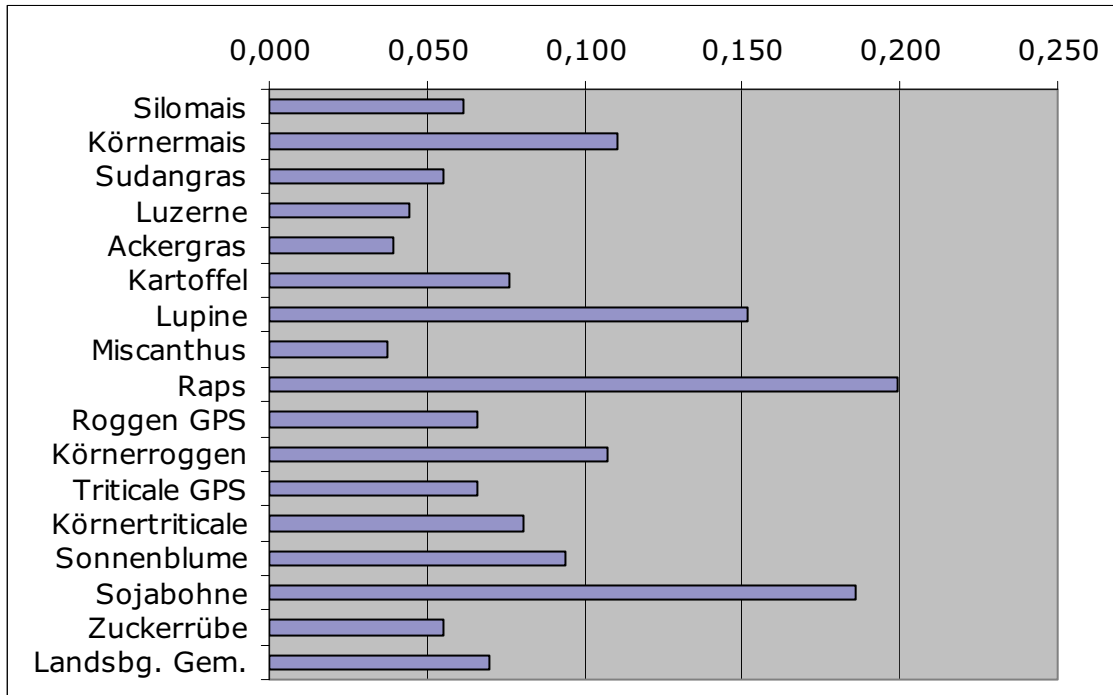


Abbildung 37: Substratpreis bei vorausgesetztem Deckungsbeitrag von 200 € pro Hektar

Die ermittelten Werte schwanken um einen Faktor 5 von zirka 0,04 € pro kg (40 €/to) bis 0,2 € pro kg (200 €/to). Analog zur Berechnung des Deckungsbeitrags bei gleich bleibendem Substratpreis, zählen Raps, Körnermais, Sojabohne und Lupine zu den am schlechtesten bewerteten Energiepflanzen, etwas besser schneidet jedoch die Kartoffel ab, was sich daraus ableiten lässt, dass sich infolge der hohen Masseerträge bei der Kartoffel (im Vergleich zu den ebenfalls hohen variablen Kosten) eine kleine Preisänderung massiver auswirkt als bei Pflanzen mit geringeren Erträgen, wie zum Beispiel dem Raps.

Am geringsten sind die benötigten Substratpreise bei Miscanthus, Ackergras und Luzerne. Weiters zählen auch der Anbau von Zuckerrübe und Sudangras und in weiterer Folge Silomais und Getreide Ganzpflanzensilage zu den wirtschaftlicheren Varianten.

Beim Vergleich der beiden bisher angestellten Berechnungsarten wird ersichtlich, dass mit steigendem Substratpreis Energiepflanzen mit hohen Masseerträgen in ihrer Wirtschaftlichkeit weitaus schneller zunehmen als solche mit geringen Erträgen.

Trotz des hohen Ertrags zeigt sich Miscanthus allerdings beständig in seiner Rolle als Spitzenreiter, da bei dessen Kultivierung nur relativ geringe variable Kosten anfallen, was unter anderem darauf zurückzuführen ist, dass die Bodenbearbeitung nur alle 10–15 Jahre anfällt.

6.2.4.3. Preis pro m³ CH₄ bei gleich bleibendem Substratpreis

Die dritte Berechnungsart zeigt die Abweichung des Preises pro Masse, zum Preis für den tatsächlichen Nutzen der Pflanze, der sich durch die Inhaltsstoffe und die sich daraus ergebende Methanausbeute errechnet. Es handelt sich dabei um keine vollständige Wirtschaftlichkeitsberechnung, sondern nur um einen Vergleich der jeweiligen Methanausbeuten. Dieser Ansatz kann jedoch als Grundlage für eine Kalkulation dienen.

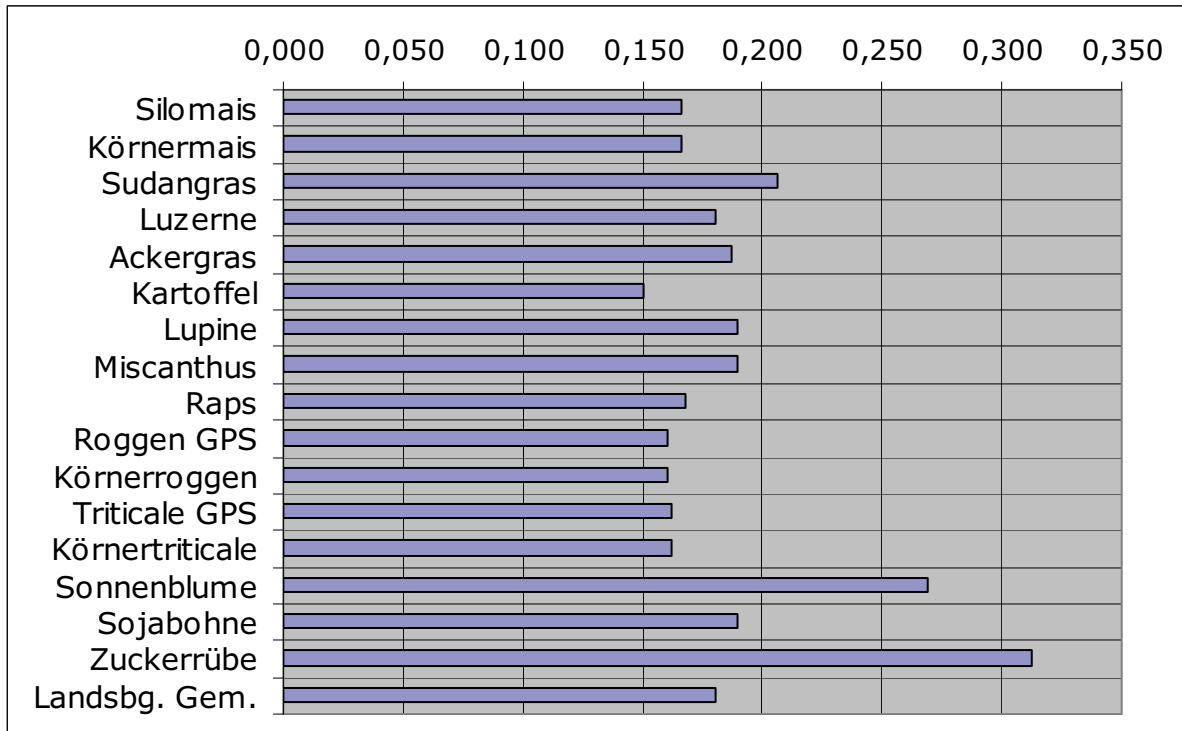


Abbildung 38: Preis pro m³ CH₄ bei gleich bleibendem Substratpreis

Der größte Teil der Werte bewegt sich innerhalb eines Rahmens von 5 Cent pro m³ (Abbildung 38). Als von den Inhaltsstoffen und der Methanausbeute beste Pflanze ist die Kartoffel anzusehen, bei der pro m³ CH₄ umgerechnet nur 15 Cent bezahlt werden.

Die stärksten Ausreißer sind jedoch die Sonnenblume und vor allem die Zuckerrübe, bei denen umgerechnet bis zu 31 Cent pro m³ CH₄ bezahlt werden, was dem Doppelten des Wertes der Kartoffel entspricht.

Zu beachten ist, dass diese Form der Betrachtung als solches nichts mit der tatsächlichen Wirtschaftlichkeitsberechnung zu tun hat, sondern nur die ökonomischen Auswirkungen der jeweiligen Inhaltsstoffe, beziehungsweise des Gärverhaltens aufzeigt. Sie hilft jedoch, die tatsächlichen Ausgaben auf den Nutzen zu beziehen und somit die Berechnungen zu objektivieren.

Man sieht dabei, dass die Wahl der Pflanzenart weit reichende Auswirkungen auf die wirtschaftlichen Faktoren einer Biogas-Anlage haben kann, wenn nicht spezifisch nach den Inhaltsstoffen und den zu erwartenden Methanerträgen abgerechnet wird, was zur Zeit jedoch nicht Standard ist.

6.2.5. Interpretation

Zur Interpretation ist es sinnvoll, die unter Punkt 6.2.4.1 und 6.2.4.2 vorgestellten Berechnungssysteme zu vergleichen und die dritte Variante erstmals nicht zu berücksichtigen. Grund dafür ist die Tatsache, dass im Regelfall keine methanspezifische Abrechnung erfolgt und daher dieser Ansatz noch kaum Praxisrelevanz aufweist.

Obwohl manche Energiepflanzen unterschiedliche Ränge in der Wirtschaftlichkeit belegen, lässt sich doch eine weitgehende Übereinstimmung aus den Daten herauslesen. Tatsächlich ergibt sich der hauptsächlichste Unterschied daraus, dass sich die verschiedenen Substratpreise bei unterschiedlichen Erträgen (die durchschnittliche Masseerträge weisen pro Hektar Werte zwischen 2.700 kg bei der Lupine und 22.500 kg bei der Zuckerrübe auf) unterschiedlich stark auswirken.

- Vergleicht man die Diagramme (Abbildung 36 und Abbildung 37) fällt auf, dass vor allem drei Pflanzen bei beiden Bewertungssystemen schlecht abschneiden. Es sind dies Raps, Sojabohne und Körnermais. Diese sind also unter keinen Umständen als Energiepflanzen zur Biogasproduktion zu empfehlen.
- Aber auch andere Kulturen wie die Lupine und die Sonnenblume mit sehr geringen Masseerträgen, oder die Kartoffel mit einem hohem Risiko durch die höchsten aller beobachteten variablen Kosten, sind kaum sinnvoll in der Biogaserzeugung einzusetzen.
- Auch auf der Seite der positiv bewerteten Ackerkulturen sind es vor allem drei, die in direkter Konkurrenz besonders hervorstechen. Miscanthus, Ackergras und Luzerne haben im Vergleich zum Nutzen die geringsten Kosten und sind daher für die Biogasproduktion am ehesten zu empfehlen. Eventuell auftretende Probleme bei der Silierung von Miscanthus sollen hier kein Thema sein, solche speziellen Pflanzeigenschaften könnten jedoch Ausgangspunkt für eine weitere Bewertungsmethode sein.
- Zu berücksichtigen sind auch Sudangras, Silomais und Zuckerrübe, wobei letztere jedoch durch sehr hohe variable Kosten bei geringeren Substratpreisen langsam ins Negative rutscht, also gewisse Risiken birgt.

Im Zuge des Anbaus von Energiepflanzen zur Biogaserzeugung sollte aber auch nicht vergessen werden, dass auch ungenutzte Stilllegungsflächen Kosten verursachen und auf der anderen Seite eine Kulturpflanzenausgleichszahlung einbringen. Der oben angesetzte Wert von 200 € pro Hektar sollte als Mindestmaß gelten, da darunter oft der Anbau von Grünbrachen ohne direkter Nutzung die wirtschaftlichere Variante darstellt.

Die Auswirkungen, die sich bei einer tatsächlichen Methan bezogenen Preisgestaltung ergeben würden, sollen abschließend in Abbildung 39 gezeigt werden. Dabei wird von einem Methanpreis von 0,2 € pro m³ ausgegangen. Das Diagramm zeigt den Deckungsbeitrag, der sich dabei für die einzelnen Energiepflanzen ergibt.

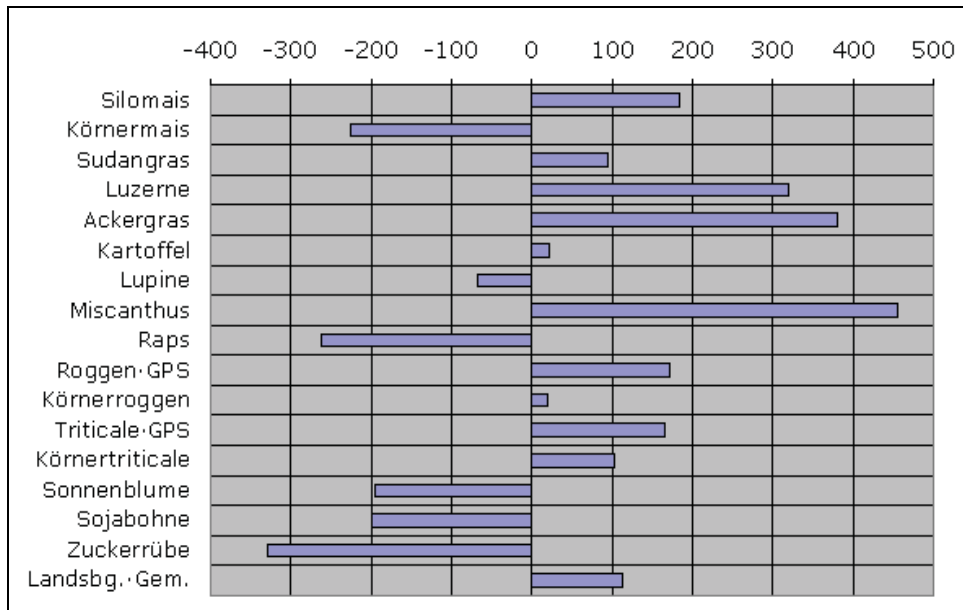


Abbildung 39: Deckungsbeitrag bei gleich bleibendem Methanpreis von 0,2 € pro m³

Zeigt sich im Groben ein ähnliches Bild, so lassen sich doch gewisse Unterschiede zur Bewertung mit gleichbleibendem Substratpreis (Abbildung 36) als Ausgangspunkt erkennen. Die größte Differenz besteht erwartungsgemäß bei der Zuckerrübe und, weniger ausgeprägt, bei der Sonnenblume, die aufgrund der niedrigen spezifischen Methanerträge deutlich schlechter abschneiden.

6.3. Gegenüberstellung der ökologischen und ökonomischen Bewertungen

Zur Entscheidung, welche Energiepflanze die geeignete zur Produktion von Biogas ist, müssen viele Faktoren verglichen werden, so zum Beispiel die klimatischen und bodenbezogenen Ansprüche der Pflanze, die Verwertbarkeit des Substrates und die in dieser Arbeit beschriebenen Faktoren der ökologischen und ökonomischen Bewertung.

Tabelle 39 zeigt zur Übersicht die in der jeweiligen Bewertung positiv bzw. negativ beurteilten Pflanzen. Dadurch kann direkt gegenübergestellt werden, wo Gemeinsamkeiten bzw. Gegensätze zu finden sind.

Tabelle 39: Aufstellung der positiv bzw. negativ bewerteten Energiepflanzen

Ökobilanz		Wirtschaftlichkeit	
Positiv:		Positiv:	
	Miscanthus		Miscanthus
	Ackergras		Ackergras
	Luzerne		Luzerne
	Silomais		Sudangras
	Kartoffel		Silomais
Negativ:		Negativ:	
	Raps		Raps
	Sojabohne		Sojabohne
	Lupine		Körnermais
	Sonnenblume		Lupine
			Sonnenblume
			Kartoffel

Auf den ersten Blick fällt auf, dass die Liste annähernd gleich ist, Unterschiede zeigen sich erst ab der dritten bis vierten Zeile und auch hier nur geringfügig.

Der Grund für die hohe Rate an Gemeinsamkeiten ist in der Tatsache zu finden, dass die meisten umweltwirksamen Vorgänge auch hohe finanzielle Ausgaben zur Folge haben. Es sei hier vor allem an den Treibstoffverbrauch und den Einsatz von Düngemitteln und Pflanzenschutzmitteln gedacht. Gleichzeitig werden diese kumulierten Negativwirkungen auf eine ähnliche funktionelle Einheit bezogen, die durch den Masseertrag bzw. den Ertrag in Kilowattstunden Energie dargestellt wird.

Hervorzuheben ist die Kartoffel, die bei der Ökobilanz unter den weniger umweltschädlichen Kulturen zu finden ist, deren Anbau jedoch wirtschaftlich betrachtet weniger sinnvoll ist. Grund dafür ist, dass ein Hauptargument gegen die Wirtschaftlichkeit durch die hohen Saatgutpreise gegeben ist, welche jedoch auf die ökologische Beurteilung keinen Einfluss haben. Körnermais schneidet durch seinen geringeren Ertrag deutlich schlechter ab als Silomais, kann jedoch nicht verglichen werden, da für ihn keine ökologische Bewertung vorgesehen ist.

6.4. Zusammenfassung

Die Wahl der Energiepflanze, die zur Erzeugung von Biogas im jeweiligen Fall eingesetzt wird, hängt von vielen regionalen, pflanzenbaulichen, technischen und auch persönlichen Aspekten ab. An erster Stelle stehen mit Sicherheit die pflanzenspezifischen Standortansprüche, die Aussage darüber geben, welche Pflanzenkultur an einem bestimmten Standort angebaut werden kann. Weiters ist wichtig, ob aufgrund innerer Faktoren die Vergärung des Materials Sinn macht.

Einer der im Allgemeinen wichtigsten Punkte, der wirtschaftliche Vergleich, wurde in dieser Arbeit näher untersucht. Mit der hier angewandten Methode ist eine übersichtliche Einstufung der einzelnen Varianten geschaffen worden, mit der Landwirte, Anlagen- Betreiber, oder sonstige Interessensgruppen über die anzubauende Pflanzenart entscheiden können.

Der ökologischen Bewertung hingegen wurde bisher kaum Beachtung geschenkt. Durch immer strengere Auflagen, vor allem bei Großanlagen, kann sich dies jedoch in naher Zukunft ändern.

Die in beiden Fällen angewandte Methodik geht von österreichischen Durchschnittswerten aus. Dadurch kann es in der Praxis zu nicht unwesentlichen Abweichungen kommen. Dadurch wird jedoch die Rangfolge der Anbauwürdigkeit nur geringfügig beeinflusst, da in Gunstlagen bei jeder der Kulturen höhere Erträge erzielt werden.

6.4.1. Konkrete Empfehlungen

Es lassen sich eindeutige Empfehlungen abgeben, die sowohl für die ökologische, als auch für die ökonomische Bewertung zutreffend sind. Sie sollen in diesem Punkt noch einmal zusammenfassend dargestellt werden.

6.4.1.1. Empfehlenswerte Energiepflanzen

- Miscanthus (Miscanthus sinensis x giganteus)

Durch die sehr hohen Masseerträge und die geringen jährlichen Kosten, schneidet die bis zu 20jährige Kultur Miscanthus (bzw. Chinaschilf) bei den Bewertungen zum Einsatz als Energiepflanze am besten ab. Ursprünglich vor allem in der Biomassefeuerung oder als Faserpflanze für Dämmstoffe eingesetzt, soll diese Pflanze auch in die Biogasproduktion Einzug halten.

Durch den hohen Faseranteil kann es bei der Vergärung, wie bereits erwähnt, zu technischen Schwierigkeiten kommen. Über die tatsächlichen Aussichten einer Biogasnutzung von Miscanthus sind sich Experten allerdings noch uneinig.

Miscanthus zählt zu den Süßgräsern und bildet bis zu 3,5 Meter hohe Bestände. Als C4-Pflanze ist sie wärmeliebend und bildet in Mitteleuropa keine keimfähigen Samen, die Vermehrung erfolgt vegetativ.²¹



²¹ www.inaro.de/deutsch/pflanzen_index.htm; 17.04.05; 17:45

- Ackergras (Weidelgras, Knaulgras, ..)

Unter dem Begriff „Ackergras“ ist nicht eine einzelne, spezielle Feldfrucht zu verstehen, sondern vielmehr ist es ein Sammelbegriff für Gräser, die im Feldfutterbau Verwendung finden.

Die wichtigsten Vertreter dabei sind das Knaulgras (*Dactylis glomerata* L.) und die Weidelgräser (*Lolium* ssp.).

Als durchschnittlicher Ertrag wird von 13.000 kg pro Hektar ausgegangen. Aufgrund dieses hohen Ertragswertes und des geringen Mitteleinsatzes liegen die Ackergräser in der Bewertung an zweiter Stelle.

- Luzerne (*Medicago* ssp.)



Die Luzerne ist eine der wichtigsten und ertragreichsten Futterpflanzen. Durch ihr weit verzweigtes Wurzelsystem verfügt sie über eine sehr gute Ausnutzung von Wasser und Nährstoffen. Nach der Ernte treibt sie erneut aus und kann so mehrmals pro Jahr und auch mehrere Jahre in Folge genutzt werden.

Da die Luzerne zu den Leguminosen zählt, also keine Stickstoffdüngung erfordert und mit 10.500 kg pro Hektar einen hohen durchschnittlichen Ertrag aufweist, ist sie neben Ackergras und *Miscanthus* für die Biogasproduktion besonders empfehlenswert.²²

6.4.1.2. Nicht empfehlenswerte Energiepflanzen

- Raps (*Brassica napus*)

Beachtet man die Ergebnisse der in dieser Arbeit angestellten Bewertungen, ist es nicht sinnvoll, Raps für die Biogaserzeugung anzubauen. Sowohl in der Ökobilanz, als auch in der Wirtschaftlichkeitsberechnung nimmt er den Rang der schlechtesten Variante ein. Dies liegt einerseits am hohen Stickstoffbedarf, andererseits an den, mit 3.300 kg pro Hektar, sehr geringen Erträgen. Hat der Raps als Ölpflanze seine Berechtigung in anderen Einsatzbereichen, so wohl kaum in der Produktion von Biogas.

- Sojabohne (*Glycine max*)

Die Sojabohne zählt zu den Leguminosen und wird hauptsächlich als Ölpflanze genutzt. Der Mitteleinsatz ist etwas geringer als beim Raps, ansonsten kämpft die Sojabohne jedoch mit ähnlichen Problemen und ist daher zur Biogaserzeugung kaum geeignet. Der Ertrag der Sojabohne ist mit 3.000 kg pro Hektar noch geringer als beim Raps.

- Lupine (*Lupinus* ssp.)

Auch die Lupine zählt zu den Leguminosen. Ihr Hauptzweck ist im Futterbau zu finden, wo sie als Ersatz für die Sojabohne fungiert.²³ Von allen betrachteten Energiepflanzen weist die Lupine den

²² www.inaro.de/deutsch/pflanzen_index.htm; 18.04.05; 15:30

²³ www.inaro.de/deutsch/pflanzen_index.htm; 18:04.05; 15:00

geringsten Masseertrag auf, wodurch sie für den Anbau als Substrat für Biogas- Anlagen ebenfalls nicht geeignet ist.

6.5. Akzeptanz in der sozio-ökonomischen Dimension

In diesem Teil wurde wird ein Fragebogen-Instrument zur Erhebung und Analyse der „Biogas-Akzeptanz“ und andere technische Hilfen entwickelt. Regionale AkteurInnen können sie nutzen, um die Akzeptanz einer Biogasanlage und der Verwendung von Energiepflanzen am Ort zu prüfen. Die Errichtung und der Betrieb werden auf die Kunden und die Betroffenen orientiert. Indem die Akzeptanz analysiert wird, kommen Verantwortliche und Betroffene miteinander ins Gespräch, und dies schafft gute Voraussetzungen für eine weitere Verbesserung der Akzeptanz.

6.5.1. Ein Frage-Instrument zur Erfassung von Akzeptanz

Akzeptanz ist die positive Einstellung eines Kunden oder einer Kundin gegenüber einem Produkt oder einer Dienstleistung²⁴. Die Akzeptanz ist eine wesentliche Voraussetzung für den Erfolg einer Produkt-idee. Sie beeinflusst das weitere Verhalten des Kunden – seine Kaufabsicht und die Zufriedenheit bei der Nutzung des Produkts.

Für den Anbieter ist die Akzeptanz bei der Zielgruppe darum höchst wichtig. Die Akzeptanzforschung stellt wissenschaftliche Hilfsmittel bereit, die es ermöglichen herauszufinden, was die Nutzerakzeptanz wesentlich beeinflusst, und sie leitet praktische Implikationen ab. Ziel der Akzeptanzforschung ist es, Produkteigenschaften zu identifizieren, die für die Einstellung und das Kaufverhalten des Kunden relevant sind. In einer nachgelagerten Umsetzung kann es gelingen, eine bestmögliche Passung zwischen Kundenbedürfnissen und Produkteigenschaften zu entwickeln (MAZUR 2003, ULLRICH 2002).

Das Design einer Akzeptanz-Untersuchung variiert stark, abhängig ist es von den Zielen und Zielgruppen sowie den Möglichkeiten, sie anzusprechen. Die Betroffenen nehmen manche Faktoren möglicherweise nicht wahr oder sprechen sie nicht an; solche Faktoren können dennoch die Akzeptanz maßgeblich beeinflussen. Umfeld und Situation müssen bedacht werden, Probleme und Nutzen erfasst und in jedem Segment strukturiert werden. Die Besuche an Umsetzungsorten und die Gespräche mit Praktikern ergaben eine umfassende qualitative Information, ergänzt wurde sie durch Literatur-Recherchen und die Erfahrungen des multidisziplinären Projektteams.

Rund 30 Quellen wurden herangezogen, darunter Systematiken zur Akzeptanzanalyse sowie spezielle Anwendungen auf Erneuerbare Energie, Biomasse, Grüne Gentechnik und das Berufsbild „Der Landwirt als Energiewirt“. Mit einzelnen Forschungseinrichtungen wurde fachlicher Kontakt aufgenommen, darunter die Universität Innsbruck und das Umweltforschungszentrum Halle-Leipzig. Experteninterviews mit Landwirten, die bereits Anlagen betreiben, mit Leitern der regionalen Bauernkammern und deren Beratungseinrichtungen, mit Repräsentanten der Energieversorgungsunternehmen und Beobachtungen auf Messen und Ausstellungen (Agraria, World Energy Day 2005) zeigten: Biogasanlagen und Energiepflanzen bilden eine spannungsreiche „Technologiekombination“. Während Verwertungen von tierischen Exkrementen altbekannt sind, gelten Energiepflanzen als neu und teilweise unbekannt. Während Biogasanlagen ein Image haben, das sie möglichst weg von der Besiedlung drängen will, müssten Nahwärmenetze gerade eine besondere Nähe zur Besiedlung aufbauen.

²⁴ Humboldt Universität Berlin, http://www.artop.de/2000_Leistungen/2100_Arbeit_und_Technik, 25.5.2004

Aus Sicht der Betroffenen, der Akteure und Verantwortlichen ergeben sich verschiedene Fragestellungen, wenn Akzeptanz beurteilt werden soll: Welche Nutzenkalküle dieser Technologie werden spontan wahrgenommen? Was kann man insgesamt mit dieser Technologie bewirken, was sind ihre tatsächlichen Funktionen? Welche Aspekte spricht die Produktphilosophie an? Was spricht gegen diese Technologie, reale negative Auswirkungen und mit ihnen verbundene Besorgnisse, oder mögliche pauschale Befürchtungen?

Weitere Dimensionen, die sich auf die Akzeptanz auswirken könnten, sind: a) das Klima im Ort: Konflikt- oder Konsens-Management, relative Homogenität oder stark divergierende Gruppen, missionarische Grün- oder Technologiegruppen, ..., b) Technologieakzeptanz in der Bevölkerung, c) Veränderungs- und Innovationsakzeptanz im Umfeld: Werden Innovationen als Verbesserungen oder als Bedrohungen erlebt?, d) Was glauben die Gemeindeglieder: Welche Gruppierungen gibt es innerhalb der kommunalen Machtebenen, wie stehen sie zum Betrieb?, e) Suchspannung nach Biogaserzeugung und erneuerbarer Energie: Allgemeine Wünschbarkeit und persönliche Suchspannungen, f) Suche nach eigenständiger, das heißt autonomer Energiegewinnung; wie stark und problematisch ist die Abhängigkeitsangst gegenüber den Ölmultis; wie sehr wird autonome Energieproduktion als politisches Aufgabenfeld definiert?, g) Suchspannung nach Alternativenergien generell, h) Akzeptanz von Fernwärme: Für mich – für andere (wen?), i) Convenience bei Wärmegenuss gegenüber persönlicher Autonomie der privaten Wärmeproduktion: Preiselastizität, j) Kombinierbarkeit der Fernwärme mit der vorhandenen individuellen Heizanlage.

Auf einer etwas abstrakteren Ebene sind es immer einige wenige Dimensionen, die mit der Akzeptanz verbunden werden, wie: themenspezifisches Wissen, Risiko- und Nutzen-Wahrnehmung, Einstellung zur Technik allgemein, Medienberichterstattung und Vertrauen. Eine Studie des BMW-nahen Instituts für Mobilitätsforschung in Berlin erhob gerade diese genannten Fragekomplexe im Rahmen ihrer Akzeptanzuntersuchung für wasserstoffbetriebene Fahrzeuge (DINSE 2003). Diese Gliederung liefert nützliche Dimensionen auch für unsere Untersuchung; wir haben sie teilweise übernommen, teilweise angepasst, ergänzt und gefüllt mit jenen Inhalten, die nach unseren qualitativen Recherchen entscheidend sein können für die Akzeptanz von Biogas und Energiepflanzen.

Der Fragebogen, ein „quantitatives Instrument“, setzt auf diese Erfahrungen auf. Er umfasst 30 Fragen zu insgesamt neun Themen. Er prüft die lokale Akzeptanz und fächert sie auf in ein Profil, das in weitere Dimensionen aufgespalten werden kann – ja nach Interesse am Detail oder am Gesamten. An letzterem interessiert sein werden die politischen EntscheiderInnen – sie erhalten eine Zahl für die Akzeptanz. Diese kann ihnen sagen, ob die Akzeptanz gegeben ist oder nicht. Den AnwenderInnen, den Betrieben stehen auf einer Ebene darunter ein Profil von neun Zahlen, auf einer weiteren Ebene 23 Zahlen zur Verfügung (Tabelle 40). Sie sagen schon etwas mehr aus über die besonderen Stärken und Schwächen am Ort, sie weisen auf Engpässe und Chancen hin. Sie gewähren Überblick und lassen Ergebnisse schnell einordnen. Je nach Profil empfehlen sich dann Maßnahmen, die geeignet sind, den einen oder anderen Aspekt zu verbessern, gezielt Nutzen und Erwartungen anzusprechen, Hindernisse auszuräumen und so fort.

Tabelle 40: Dimensionen der Akzeptanz von Biogasanlagen, mit Energiepflanzen betrieben

	9 Dimensionen der Akzeptanz	23 Sub-Dimensionen
1	Aktivierte Akzeptanz	Akzeptanz Energie aus Pflanzen Akzeptanz einzelner Energiepflanzen Akzeptanz Wärmenetz Akzeptanz persönlicher Beitrag
2	Aufmerksamkeit	Aufmerksamkeit
3	Bedingungs-Setzung	Bedingungs-Setzung
4	Ethik	PRO RE Einsatz Verantwortung und Offenheit Zahlungsbereitschaft
5	Nutzen	Nutzen persönlich Nutzen für die Region Nutzen am Ort - Primärbedarf
6	(kein) Risiko	(kein) Risiko der Energiepflanzen (kein) Risiko der Nahwärme (keine) Risiken am Ort (kein) Risiken im Betrieb
7	Sozial-Optimismus	Kommunales Klima Vertrauen in AkteurInnen
8	Technologie-Optimismus	Optimismus Energie-Technologie Vertrauen in Technologie
9	Wissen	Wissen Ökothemen Wissen Energiepflanzen und Biogas Medienzugriff

Für die Wissenschaft und für eine unterstützende Moderation interessant ist schließlich die unterste Ebene: Sie schlüsselt die 23 Sub-Dimensionen noch weiter auf, greift auf jedes Frage-Item einzeln zu. Rund 180 Einzeldaten werden je Projekt erhalten. Hier kann punktgenau auf Befürchtungen, Wünsche und Forderungen eingegangen werden. Diese Information kann eine Kommune sehr bewegen – jedoch nur dann, wenn ein in Befragungsdaten und Entwicklungsprozessen gleichermaßen Erfahrener sie auslegt.

Der Fragebogen findet sich im Anhang 12, Anhang 13 ist das Arbeitshandbuch, das Hilfe bei der Durchführung der Analyse und Auswertung bietet.

7. Erstellung des Tools

Alle in den vorangegangenen Kapiteln beschriebenen Arbeiten wurden auch in einer Homepage zusammengeführt. Diese Homepage bietet einerseits eine Informationsplattform und andererseits auch die Möglichkeit der interaktiven Auseinandersetzung mit dem Thema Biogas und Energiepflanzen. Sie stellt damit die Basis für eine nachhaltige Bedarfsdeckung von Biogasanlagen mit Energiepflanzen (Verfügbarkeit und Eignung) sowie für die Akzeptanz von Anlagen in der Bevölkerung (Anrainer, Landwirte) dar.

Das Bewertungstool für die Biogas-Akzeptanz ist Teil einer umfassenderen Internet-Oberfläche, die Dienste ermöglicht, wie etwa einen Wirtschaftlichkeitskalkulator oder Information über die Verfügbarkeit von Rohstoffen in Kleinproduktionsgebieten. Jeder dieser Teile ist ein eigenes Modul, ein eigenes CGI-Script, das auch eigenständig betrieben werden könnte. Die vom Benutzer eingegebenen Daten werden in CSV-Dateien gespeichert, was ein einfaches Importieren und Exportieren in andere Programme wie Excel ermöglicht.

Der Themenblock „Verfügbarkeit“ steht zur Gänze als online abrufbare Datenbank zur Verfügung und dient der raschen Identifizierung der Energiepflanzen-Situation in Österreich.

Die „Eignung“ von Energiepflanzen zur Vergärung ist als interaktiver Programmteil abgebildet, wobei der Benutzer eigene Vorstellungen und eigene Zahlenwerte (Hektarerträge usw.) eingeben kann. Gemeinsam mit der „Akzeptanz“ in der ökologischen und ökonomischen Dimension kann so eine Gesamtbewertung von Energiepflanzen abgefragt werden, welche letztendlich in einer Reihung der Pflanzen resultiert.

Die „Akzeptanz“ in der sozio-ökonomischen Dimension schließlich wird in Form eines Fragebogen-Instruments samt Arbeitshandbuch und Interpretationshilfen auf der Homepage angeboten. Ergebnisse der Umfrage können dann wiederum interaktiv über die Homepage ausgewertet werden.

Im Folgenden wird die Homepage sowie die einzelnen Komponenten genauer beschrieben. Ergänzend zu der Beschreibung empfiehlt sich die Studie der vorangegangenen Kapiteln so wie der Besuch der Homepage unter www.biogasakzeptanz.at.

7.1. Die Energiepflanzenbewertung im Internet-Tool

Für eine Gesamtbewertung wurden die Ergebnisse der Kapitel „Eignung von Energiepflanzen für die Vergärung“ und „Akzeptanz von Energiepflanzen und Biogasanlagen“, letztere in den ökologischen und ökonomischen Dimensionen, zusammengeführt und eine Gesamtbewertung mittels Fuzzy Composite Programming erstellt.

Für die Umweltwirkung wurden die Ergebnisse der von Reindl (2005) erstellten Ökobilanz aggregiert, die Wirtschaftlichkeit setzt sich aus dem berechneten Methanertrag je kg Trockenmasse in Kombination mit dem Hektarertrag und den variablen Kosten zusammen.

Damit ergibt sich folgendes Schema für die Gesamtbewertung (Abbildung 40).

Diese ermöglicht nun, Umweltwirkung, Wirtschaftlichkeit und Eignung der Energiepflanzen direkt gegeneinander abzuwägen. Die Implementierung dieser Gesamtbewertung findet sich unter dem Punkt „Energiepflanzenbewertung“ auf www.biogasakzeptanz.at.

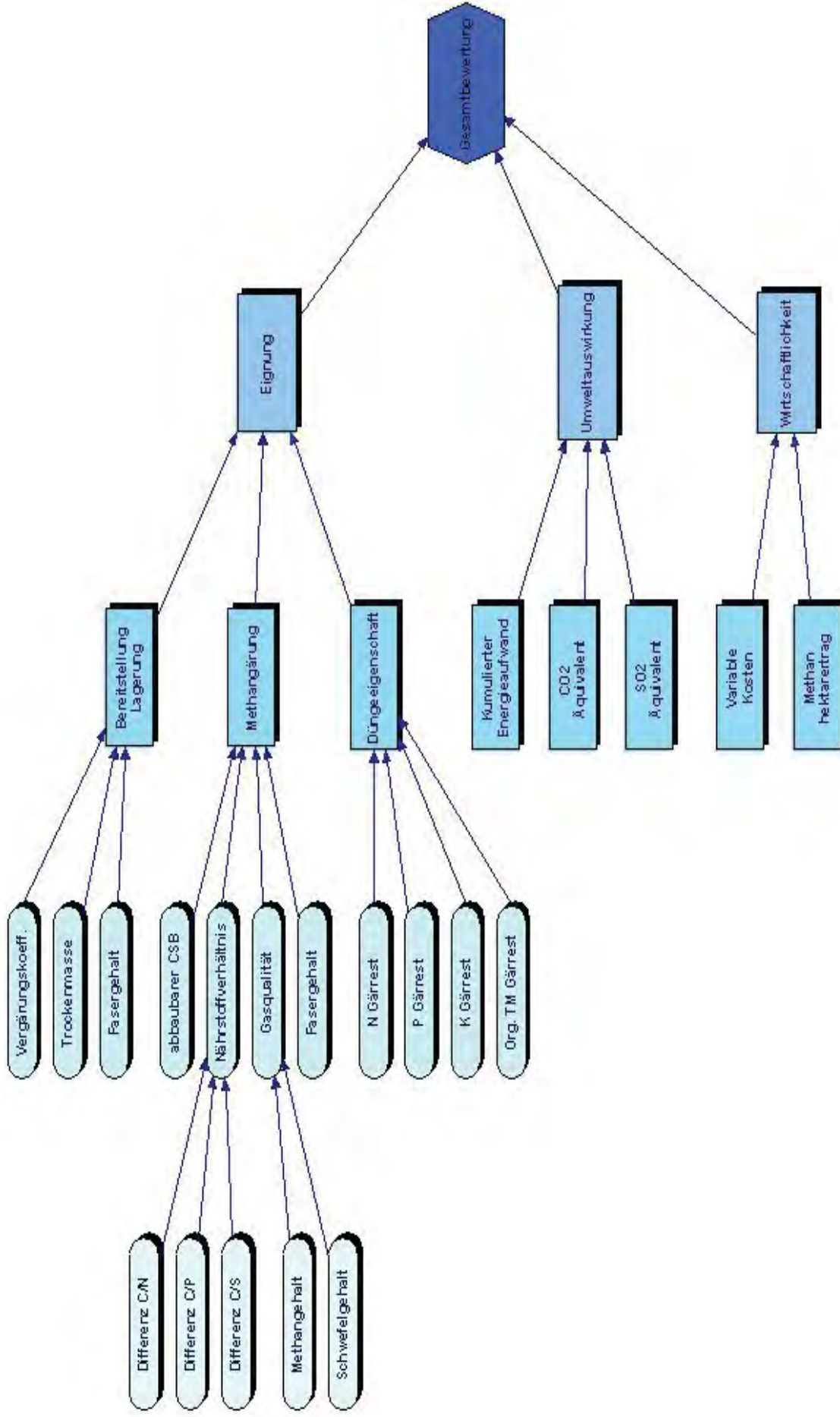


Abbildung 40: Schema für die zusammenfassende Energiepflanzenbewertung nach wirtschaftlichen, ökologischen und naturwissenschaftlichen Gesichtspunkten.

Es bleibt der Präferenz des Nutzers überlassen, welche Gewichtung er für die einzelnen aggregierten Indikatoren Umweltauswirkungen, Wirtschaftlichkeit und Eignung wählen möchte. Mit einer Gewichtung von

- Eignung: 0,3
- Wirtschaftlichkeit: 0,4
- Umweltauswirkungen: 0,4

ergibt sich zum Beispiel die in Tabelle 41 angeführte Reihung der betrachteten Energiepflanzen. Diese nimmt von oben nach unten ab, die Zahl beschreibt die gewichtete Distanz zu einem fiktiven Idealpunkt, berechnet nach Tran und Duckstein (2002).

Da sich die Ergebnisse je nach gewählter Gewichtung verändern, wird auf eine detaillierte Diskussion verzichtet und auf die Homepage verwiesen.

Der große Vorteil der Bewertung mittels Fuzzy Composite Programming liegt hier jedenfalls in der Möglichkeit, die Schwankungsbreiten für den Hektarertrag zu erfassen, die nach den vorliegenden Ergebnissen einen weit größeren Einfluss sowohl auf die Wirtschaftlichkeit als auch auf die Umweltwirkung der einzelnen Energiepflanzen ausüben, als die Variabilität des erreichbaren Methanertrags je kg Trockenmasse. Die grafische Darstellung der Ergebnisse ist in Abbildung 41 gegeben.

Tabelle 41: Reihung der Energiepflanzen mit gewählter Gewichtung: Eignung: 0,3; Wirtschaftlichkeit: 0,4; Umweltauswirkungen: 0,4

GRÜNLAND Welksilage grasreich	51,78
GRÄSER	53,81
FUTTERRÜBE	55,38
SUDANGRAS	55,60
MAIS Ganzkornsilage	56,02
MAIS GPS Milch-Teigreife	56,19
LUZERNE	57,21
TRITICALE Körner	57,39
ROGGEN Körner	57,85
ROGGEN GPS grün	58,64
MAIS Korn	58,91
TRITICALE GPS Milch-Teigreife	58,99
ROGGEN GPS Milch-Teigreife	59,17
TRITICALE GPS grün	59,55
SOJABOHNE GPS Ende der Kornfüllung	62,79
SÜßLUPINE Ende der Kornfüllung	63,62
SONNENBLUME GPS vor bis Ende der Blüte	63,82
SONNENBLUME GPS Ende der Kornfüllung	64,45
ZUCKERRÜBE	64,61
KARTOFFEL	64,70
LEGUMINOSEN-GRÄSERGEMENGE/ KLEEGRAS	66,32
SONNENBLUME Korn	69,54
RAPS GPS vor der Blüte	69,72
SOJABOHNE Körner	69,92
RAPS Körner	70,87
SÜßLUPINE GPS vor bis Ende der Blüte	71,51

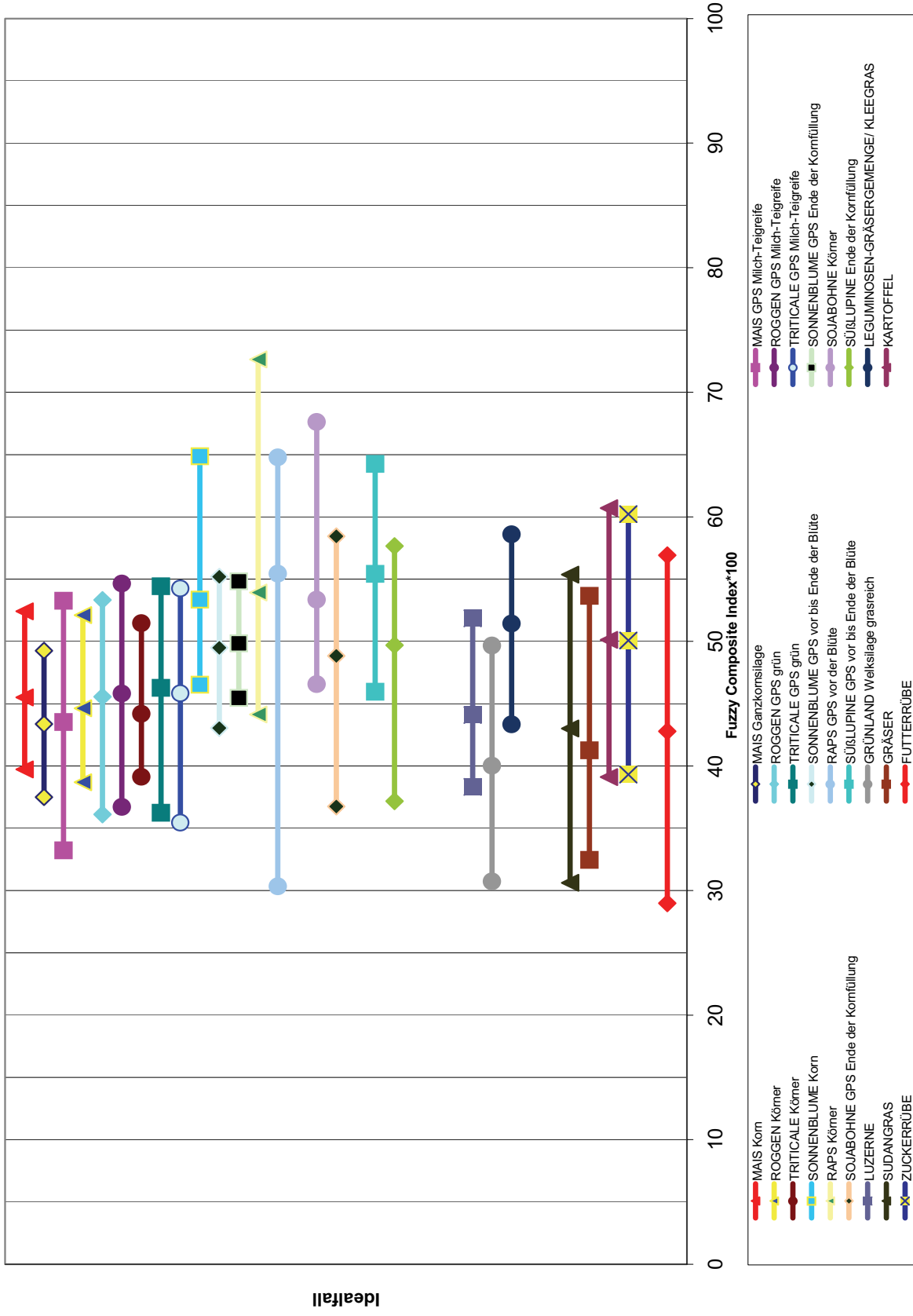


Abbildung 41: Energiepflanzenbewertung mit gewählter Gewichtung: Eignung: 0,3; Wirtschaftlichkeit: 0,4; Umweltauswirkungen: 0,3

7.2. Die Biogas-Akzeptanz-Erhebung im Internet-Tool

Das Frage-Instrument mitsamt den Auswertungen für einen Modellfall (Anhang 12 bzw. Anhang 14) ermöglicht und erleichtert als Internet-Tool ein selbständiges Arbeiten. Der oder die AnwenderIn kann sich Fragebögen herunterladen. Man findet eine detaillierte Beschreibung, wie vorzugehen ist und wie die Ergebnisse interaktiv ausgewertet und schließlich im sozialen Prozess verwertet werden können. Sie müssen daher – zumindest theoretisch – nicht auf Beratung und Hilfe von außen zugreifen und können Kosten sparen. Das ist die Philosophie des Biogas-Akzeptanz-Tools.

Wer eine Akzeptanzanalyse ausführen will, kann sich umfassend über das Instrument und seine Funktionen informieren, über einzelne Arbeitsschritte und ihre Vor- und Nachbereitung. Der oder die BenutzerIn kann mit Hilfe des Internet-Tools Fragebögen ausdrucken, verteilen, einholen, eingeben und auswerten. Mehrere Werkzeuge unterstützen sie dabei:

- Zunächst findet der/die BenutzerIn online eine Darstellung des Nutzens einer solchen Analyse – Was kann er/sie von den Ergebnissen erwarten? Wie unterstützt eine Akzeptanzanalyse die Einführung erneuerbarer Energie? Wer wird von den Ergebnissen profitieren? Angesprochen sind einerseits Landwirte und Landwirtinnen, hier spezielle jene, die eine Biogasanlage betreiben oder betreiben wollen, Strom erzeugen und einspeisen, ein Wärmenetz bauen und versorgen, Material zuliefern wollen. Andererseits die Kunden und Betroffenen: Nachbarn und Nachbarinnen der Anlage, Wärme- und Stromkunden, Maschinen- und Service-Zulieferer. Schließlich kann das Ergebnis der Biogas-Akzeptanzanalyse auch verwendet werden von landwirtschaftlichen Organisationen, Investoren, Förderstellen, lokalen Umweltgruppen, Regionalmanagement und – nicht zuletzt – den Behörden und der Ortschaft.
- Der/die registrierte BenutzerIn kann den Akzeptanzfragebogen als pdf-Datei herunterladen. Um ihn richtig einzusetzen, findet er/sie ein Arbeitshandbuch (ebenfalls pdf), das beschreibt, wie die Akzeptanzanalyse ausgeführt werden soll. Die Akzeptanzanalyse braucht einen Platz im Prozess der Projektentwicklung. Sie soll an strategisch wichtiger Stelle eingesetzt werden: nicht zu früh und nicht zu spät – das Projekt braucht eine gewisse Reife, muss aber noch geformt und angepasst werden können. Wenn die Anlage schon besteht, bringt ein Fragebogen wenig. Andererseits nutzt Information immer etwas, etwa um Vorteile der Biogastechnologie darzustellen, Einwände zu behandeln, Wärmekunden zu werben – manch einer könnte sich nach einer Veranstaltung an ein Wärmenetz anschließen wollen. Das Arbeitshandbuch hilft, den richtigen Zeitpunkt für eine Analyse zu finden und diese auch organisatorisch zu verankern: Wer trägt den Beschluss, wem gehören die Ergebnisse, wie wird Information eingeholt und verbreitet?
- Wenn diese Entscheidungen getroffen sind, kann die Detail-Planung der Akzeptanzanalyse beginnen. Der/die BenutzerIn erfährt aus dem Arbeitshandbuch, wie die Analyse ausgeführt werden soll. Wen braucht er/sie dazu, was sollte er/sie wissen? Prinzipien, wie eine geeignete Stichprobe erhalten werden kann, wie die Feldarbeit ausgeführt wird, wie schließlich die Daten eingegeben werden und wo sich die Ergebnisse finden und was mit ihnen geschehen sollte – das sind die Überschriften des Arbeitshandbuchs.
- Einen breiten Raum erhält die Interpretationshilfe. Wie sind die Ergebnisse zu verstehen? Zahlen und Grafiken müssen immer interpretiert werden, in einen Zusammenhang gesetzt werden. Der Akzeptanzindex soll Orientierung geben, grundsätzlich und im Detail. Der/die BenutzerIn erhält Information darüber, welche Ergebnisse für welche Zielgruppe auszuwählen sind und wie sie im Einzelnen zu bewerten sind. Das gesamte System der Erhebung wird dargestellt – von den einzelnen Fragen zu den Dimensionen und zum Gesamtindex. Zu jedem

Themenblock werden Grenzwerte angegeben, innerhalb derer ein Ergebnis akzeptabel oder auffällig ist.²⁵

- Eine Eingabemaske unterstützt die Eingabe und das Editieren von Fragebögen online.
- Der/die BenutzerIn sieht ihre eigenen Ergebnisse grafisch dargestellt und vor dem Hintergrund der Vergleichswerte aus dem Prätest. Er/sie erhält online eine Einordnung ihres Gesamtergebnisses und der 9 Dimensionen (siehe Tabelle 40) jeweils auf einer dreistufigen Skala: unauffällig, auffällig niedrig, auffällig hoch. Er/sie erhält online einen Interpretationstext zu ihren individuellen Ergebnissen. Er/sie erhält online eine grafische Darstellung der 23 Akzeptanzdimensionen (siehe Tabelle 40) vor dem Hintergrund der Vergleichswerte aus dem Prätest. Er/sie kann diese Ergebnisse ausdrucken und präsentieren.

Trotz online-Unterstützung könnte der/die BenutzerIn Hilfe von außen wünschen. Das Internet-Tool verweist ihn/sie auf entsprechende Möglichkeiten. Vorteile einer fachlichen Beratung sind, dass die Akzeptanzanalyse schnell und reibungsfrei ausgeführt werden kann, dass die Interpretation der Ergebnisse sicherer wird, und dass die Projektentwicklung optimal unterstützt wird. Einschätzungen von außen werden oft höher geachtet als die Meinung eines lokalen Akteurs – sie können den örtlichen Meinungsbildungs- und Entscheidungsprozess stark unterstützen. Die Befragungsdaten sollte jemand interpretieren, der mit Daten Erfahrung hat und gleichermaßen auch mit Prozessen der Dorfentwicklung vertraut ist. Für einen Projektbetreiber entsteht damit ein wesentlicher Mehrwert. Eine solche Arbeit kann im Rahmen von einem bis eineinhalb Tagen ausgeführt werden.

7.2.1. Die Master-Auswertung für eine österreichische Energiepflanzen-Akzeptanz im Internet-Tool

Alle online eingegebenen Daten sind auch dem Homepage-Betreiber („Master“, „Administrator“) einsehbar. Allerdings kann er nicht die Qualität der eingegebenen Daten sicherstellen, es sei denn, dass deren Erhebung zertifiziert wird. Wenn viele lokale Gruppen und Gemeinden ihre Projekte auf Akzeptanz prüfen lassen werden, wird sich ein beachtlicher Datenpool aufbauen. Eine Bearbeitung dieses Datenpools ist möglicherweise Teil eines künftigen Forschungs-Projekts. Es könnte Erkenntnisse liefern, die über eine einzelne Anlage hinausgehen. Zielgruppen würden sich immer punktgenauer unterscheiden lassen. Bewusstseinsbildende Maßnahmen zur Verbesserung der Akzeptanz würden treffsicher geplant werden können.

Im Rahmen eines Folge-Projekts konzipiert das Projektteam eine Auswertungsvariante für den Master, sie zielt ab auf ein „Benchmarking-Tool“, auf ein „Lernen von den Besten“ und eine Vernetzung mit einer in einem anderen Projekt entwickelten technologischen Datenbasis (*Best biogas practice*). Wenn die Akzeptanz-Datenbasis auf mehrere Anlagen ausgebaut wird, möglicherweise auch auf Anwendungen über Biogas hinaus, kann das Tool seine Chancen verbessern, nachhaltig am Markt zu bestehen.

²⁵ Diese Grenzwerte beruhen auf Prätest-Ergebnissen. Der Prätest umfasste acht Befragungen, fünf davon richteten sich an (potenzielle) Betreiber von Biogas-Anlagen, drei an Konsumenten und Konsumentinnen. Zwei davon waren Frauen. Die im Prätest befragten Betreiber standen der Thematik Biogas und Energiepflanzen sehr aufgeschlossen gegenüber, ebenso – nicht ganz so stark – die befragten KonsumentInnen, die aus dem Umfeld der Institute rekrutiert wurden.

7.3. Vorstellung und Funktionen der Homepage www.biogasakzeptanz.at

7.3.1. Öffentlicher Bereich

Über die Adresse: www.biogasakzeptanz.at kommt man in den öffentlichen Bereich der Homepage. Diese bietet über die Menüleiste auf der linken Seite einen kurzen Überblick über die einzelnen Tools.



Die einzelnen Menüpunkte umfassen:

7.3.1.1. Regionsinformation



Text auf der Homepage

„Dieses Werkzeug bietet Ihnen mehrere Möglichkeiten zur Optimierung Ihrer Pflanzenauswahl.

- Überprüfen Sie regionale **Gegebenheiten**, die für den Anbau von Energiepflanzen von Bedeutung sind.
- Stimmen Sie diese mit den **Ansprüchen** der Pflanzen ab.
- Ermitteln Sie das Potential Ihres Kleinproduktionsgebietes und minimieren Sie so Ihr Risiko schon im Vorfeld.
- Zur Anpassung der Ergebnisse an den Standort Ihrer Anlage, verfügt dieses Tool über eine Gliederung in 87 österreichische Kleinproduktionsgebiete, die nach klimatischen und geographischen Verhältnissen eingeteilt sind.“

7.3.1.2. Akzeptanzanalyse



Text auf der Homepage

„Testen Sie, ob Ihr Projekt akzeptiert wird. Gewinnen Sie Sicherheit für Ihre Planung. Was wissen Ihre Nachbarn und Nachbarinnen, was bewegt sie?“

Eine Akzeptanzanalyse schafft Ihnen Rückhalt und Sie können gezielt informieren und auf Wünsche eingehen. So vermeiden Sie Widerstand.

Ein geprüftes Tool steht zu Ihrer Verfügung – online und kostenlos.

Sie können alles selber machen, eine Anleitung hilft Ihnen dabei. Sie können aber auch auf fachliche Unterstützung zugreifen – das erspart Ihnen Zeit und erweitert Ihre Möglichkeiten. Wir helfen Ihnen, die Ergebnisse zu deuten und umzusetzen.

Zum Herunterladen: Nutzenbeschreibung, Fragebögen, Arbeitshandbuch und Interpretationshilfen“

7.3.1.3. Wirtschaftlichkeit



Text auf der Homepage

„Geld ist in fast allen Angelegenheiten ein entscheidender Faktor. Gerade für Betreiber und Substratlieferanten von Biogasanlagen.

Machen Sie keine Fehlkalkulationen, sondern entscheiden Sie sich von vornherein für die richtige Ackerkultur mit dem bestmöglichen Ertrag an Biogas!

Hier finden Sie eine Hilfestellung, die – ausgehend von Substratpreis, erwünschtem Deckungsbeitrag, oder Preis pro m³ CH₄ – die unterschiedlichen Energiepflanzen vergleicht und Ihnen einen Anhaltspunkt über die zu erwartende finanzielle Situation liefert.

Obwohl die Resultate eher als Größenordnung zu verstehen sind, ist dieser Vergleich zweifellos eine wichtige Entscheidungshilfe.“

7.3.1.4. Ökobilanz



Text auf der Homepage

„Mit dem Bau einer Biogasanlage tragen Sie entscheidend zum Schutz unserer Umwelt bei. Doch wie nachhaltig ist die Vergärung von Energiepflanzen wirklich? Welche negativen Umwelteinflüsse sind zu erwarten und durch den Anbau welcher Pflanze können Sie diese minimieren?

Diese Fragen werden in diesem Abschnitt durch anschauliche Diagramme erläutert und helfen Ihnen so, die richtige Entscheidung bezüglich Pflanzenauswahl zu treffen.

Untersucht wurden dabei unterschiedliche Emissionen, die in Form des CO₂-Äquivalents, des SO₂-Äquivalents und des kumulierten Energieaufwandes (KEA) gruppiert wurden.“

7.3.1.5. Energiepflanzen



Text auf der Homepage

„Energiepflanzen Eignung

Die Inhaltsstoffe und inneren Eigenschaften von Pflanzen wirken sich in vielerlei Hinsicht auf den Betrieb Ihrer Anlage aus.

Von der Bereitstellung und Lagerung über das Gärverhalten bis hin zu den Düngereigenschaften der Biogasgülle beeinflussen sie die Prozesse auf unterschiedlichste Weise.

Sie wollen überprüfen, welche der Energiepflanzen Ihren Ansprüchen am ehesten gerecht werden?

Wir geben Ihnen die Möglichkeit!

Energiepflanzenbewertung

Jede Pflanze hat ihre spezifischen Vor- und Nachteile, sei es von wirtschaftlicher, ökologischer, pflanzenbaulicher oder gärprozesseitiger Sichtweise.

Wie wichtig Ihnen diese Punkte sind, können Sie hier selbst beurteilen und so eine eigene Rangliste der besten Pflanzen erstellen. In diese Bewertung fließen alle Kriterien der anderen Bereiche dieser Website, abgesehen von der "Regionalinformation", die Sie selbstständig abgleichen müssen.“

7.3.1.6. Leistungsrechner



Text auf der Homepage

„Welche Flächen benötigen Sie zur Versorgung Ihres Biogasreaktors?

Welche Motorleistung können Sie mit den vorhandenen Flächen betreiben?

Diese Fragen können Sie im folgenden Programm beantworten. Dabei können Sie die Ausgangsdaten frei eingeben, die Software vergleicht dann die Leistungsfähigkeit der unterschiedlichen Energiepflanzen.

Dies bietet Ihnen eine Hilfestellung zur Dimensionierung ihrer Anlage, wodurch Sie Ihre Pläne konkretisieren und Ihr Risiko verringern können.“

7.3.2. Login-Bereich

Über den Login Button auf der rechten Seite der Seite kann man sich für den Login-Bereich registrieren lassen.

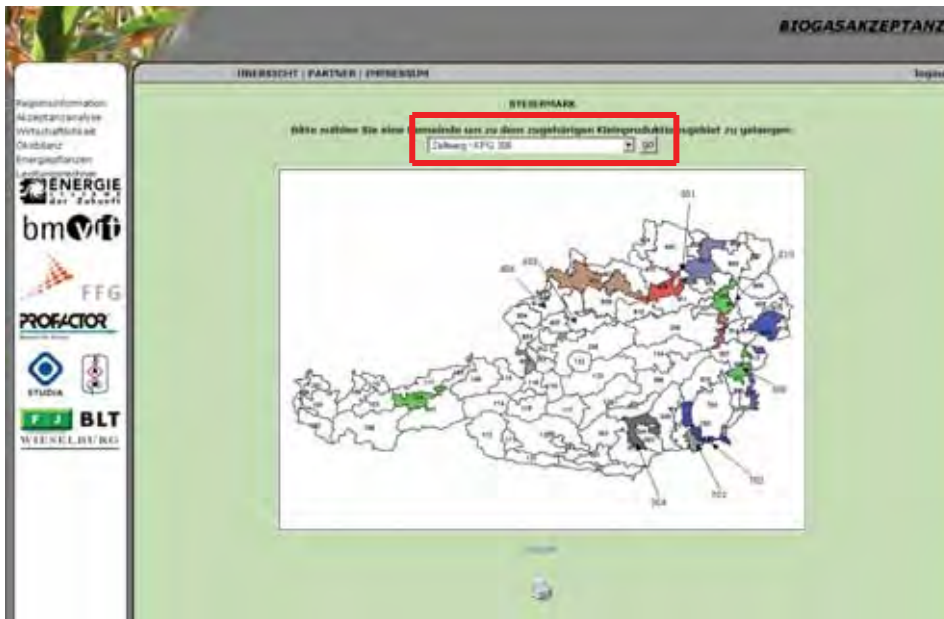
Mit dem Username und Passwort kann man die einzelnen Tools uneingeschränkt nutzen.



Die Navigation erfolgt wieder über die Menüleiste auf der linken Seite.



7.3.2.1. Regionsinformation



Das gewünschte Kleinproduktionsgebiet kann über ein Drop-down-Menü ausgewählt werden.



Über diese Seite können vier Informationen über das gewünschte Kleinproduktionsgebiet ausgewählt werden, die für den Bau einer Biogasanlage essentiell sind:

Charakterisierung des KPG

Hier erhält man einen kurzen Überblick über die wichtigsten geografischen Parameter des KPG.



Kulturarten und deren Anbauflächen

Dieser Bereich behandelt statistisch die landwirtschaftlichen Parameter hinsichtlich Ackerbaus. Als zusätzliches Service stehen dem User ein kurzer Steckbrief der dort vertretenen Kulturpflanzen, eine Übersichtskarte sowie eine Beschreibung der Verbreitung der einzelnen Kulturpflanzen zur Verfügung.

KLEINPRODUKTIONSGBIET 306
Murboden, Mürz- u. Liesingtal

KULTURARTEN UND DEREN ANBAUFLÄCHEN

ACKERLAND

KULTURART	ha	%	GLN	STRECKENNETZ	KARTE	BESCHREIBUNG
Ackerbohne	76	0,31	-	-	-	-
Com-Grün	10	0,04	-	-	-	-
Erbsen	1081	4,48	-	-	-	-
Erbsensilage	122	0,51	-	-	-	-
Erbsensaat	99	0,41	-	-	-	-
Erbsen	37	0,15	-	-	-	-
Erbsen	12	0,05	-	-	-	-
Erbsen	8	0,03	-	-	-	-
Erbsen	1	0,00	-	-	-	-
Erbsen	1270	5,26	-	-	-	-
Erbsen	1098	4,55	-	-	-	-
Erbsen	198	0,82	-	-	-	-
Erbsen	276	1,14	-	-	-	-
Erbsen	52	0,21	-	-	-	-
Erbsen	96	0,39	-	-	-	-
Erbsen	271	1,12	-	-	-	-
Erbsen	31	0,13	-	-	-	-
Erbsen	270	1,12	-	-	-	-
Erbsen	405	1,68	-	-	-	-
Erbsen	331	1,37	-	-	-	-
Erbsen	84	0,35	-	-	-	-
Erbsen	3015	12,49	-	-	-	-
Erbsen	1395	5,78	-	-	-	-
Erbsen	8601	35,63	-	-	-	-

STILLLEGUNG

Tierbestand und Dunggroßvieheinheiten

Ebenso wie beim Bereich Kulturarten und deren Anbauflächen verhält es sich mit dem Tierbestand und den Dunggroßvieheinheiten.



Potenzial – Substrat für Biogasanlagen

Der Bereich der Potenzialerhebung erfasst tabellarisch den Ertrag an Energiepflanzen, der in der gewünschten Region zu erwarten ist. Dies errechnet sich aus folgenden Punkten:

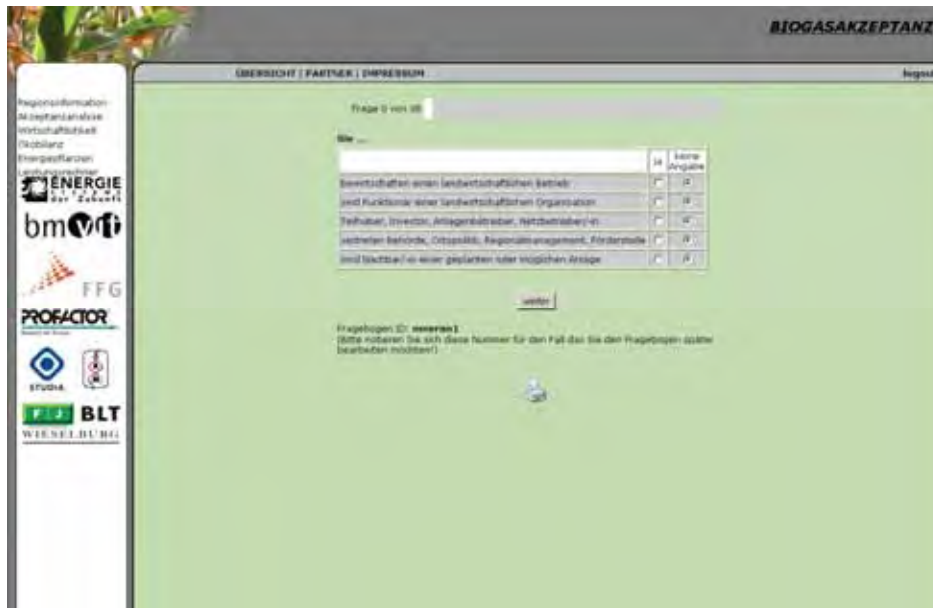
- Ackerflächenpotenzial [ha] nach Abzug der von der Tierhaltung benötigten Ackerfläche
- Anteil des Flächenüberschusses [%] bezogen auf die Ackerfläche
- Wirtschaftsdüngeranfall gesamt [t TS]
- Grünlandüberschuss [t TS] Stand 1999
- Grünlandüberschuss [t TS] prognostiziert (Stand 2010)
- Energiepflanzen Ertragspotenzial aus 5 verschiedenen Szenarien
- Energiedichte aus 5 verschiedenen Szenarien



7.3.2.2. Akzeptanzanalyse



Dem User wird die Möglichkeit gegeben, einerseits die Fragebögen als PDF herunterzuladen oder gleich online auszufüllen.



Die Auswertung erfolgt dann ebenfalls gleich online.

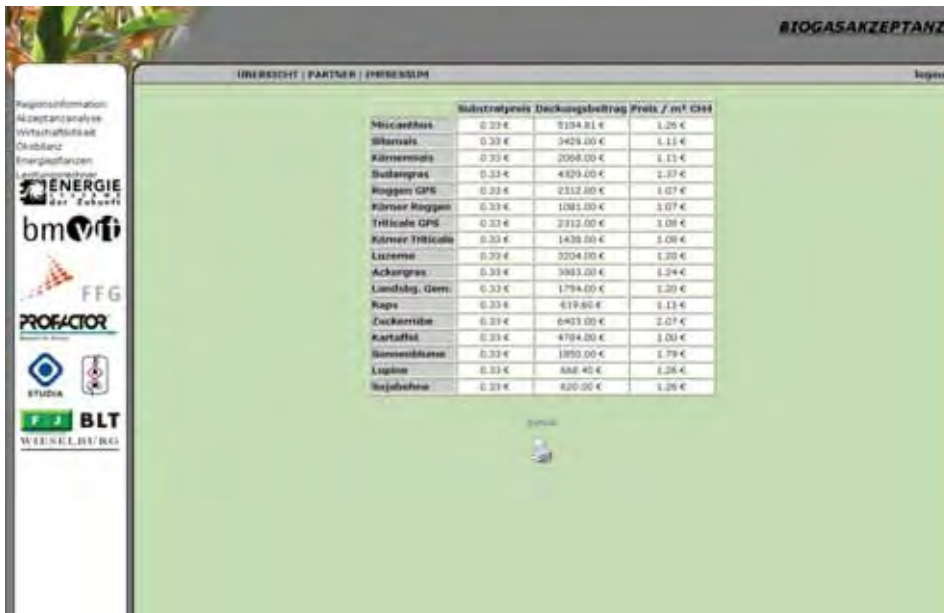


7.3.2.3. Wirtschaftlichkeit

Die Wirtschaftlichkeitsberechnung vergleicht die wichtigsten Energiepflanzen aufgrund ihrer ökonomischen Leistungsfähigkeit. Dabei kann der/die BenutzerIn selbst entscheiden, welchen der Faktoren er/sie fixieren will, den Deckungsbeitrag, den Substratpreis pro Kilogramm, oder den Preis pro m³ Biogas. Falls er/sie eine Kulturpflanzenausgleichszahlung bezieht, kann diese ebenfalls miteinbezogen werden (ein Startwert ist angegeben).



Die Ausgabe der gewünschten Parameter erfolgt tabellarisch. Der direkte Vergleich der einzelnen Pflanzen soll die Auswahl der geeignetsten Energiepflanze erleichtern.



7.3.2.4. Ökobilanz

„Mit dem Bau einer Biogasanlage tragen Sie entscheidend zum Schutz unserer Umwelt bei. Doch wie nachhaltig ist die Vergärung von Energiepflanzen wirklich? Welche negativen Umwelteinflüsse sind zu erwarten und durch den Anbau welcher Pflanze können Sie diese minimieren?“

Diese Fragen werden in diesem Abschnitt durch anschauliche Diagramme erläutert und helfen Ihnen so, die richtige Entscheidung bezüglich Pflanzenauswahl zu treffen.

Untersucht wurden dabei unterschiedliche Emissionen, die in Form des CO₂-Äquivalents, des SO₂-Äquivalents und des kumulierten Energieaufwandes (KEA) gruppiert wurden.“



7.3.2.5. Pflanzenbewertung

„Sollten Sie nach den Detailbewertungen immer noch unentschieden sein, welche der Energiepflanzen Sie für Ihre Produktion heranziehen, finden Sie in diesem Abschnitt eine übersichtliche Lösung.“

Durch eine einfache Gewichtung der Wichtigkeit von Eigenschaften erhalten Sie eine Reihung der Pflanzen, die diesen Eigenschaften bestmöglich entsprechen. Dies hilft Ihnen bei der Auswahl der Energiepflanzen, die Ihnen das Substrat für Ihre Biogasanlage bringen werden.“

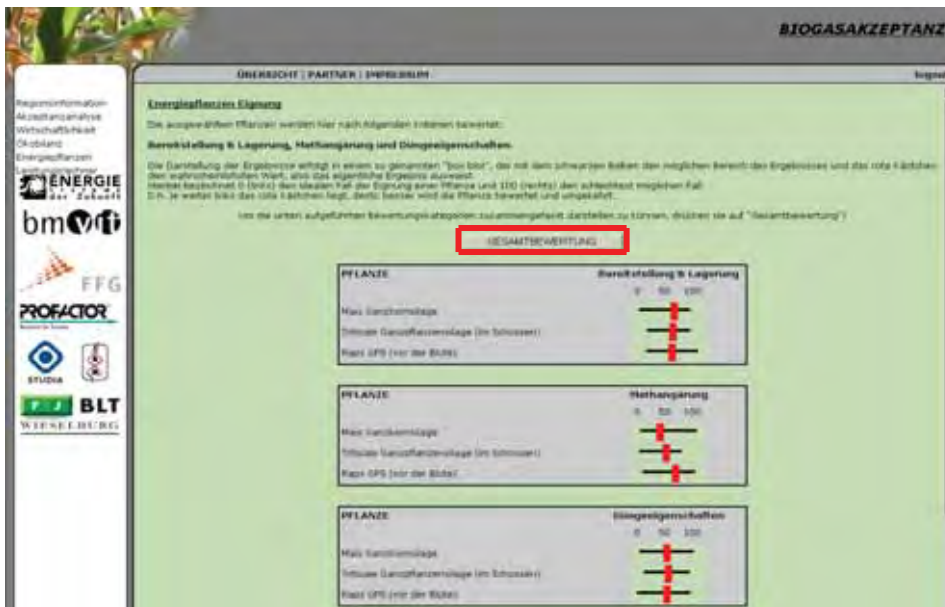


Die Auswahl nach Eignung und Bewertung der Energiepflanzen erfolgt durch den User. Aus einer Reihe von möglichen Energiepflanzen kann der zukünftige Energielandwirt die gewünschten Pflanzen auswählen und auf unterschiedliche Parameter hin analysieren lassen.

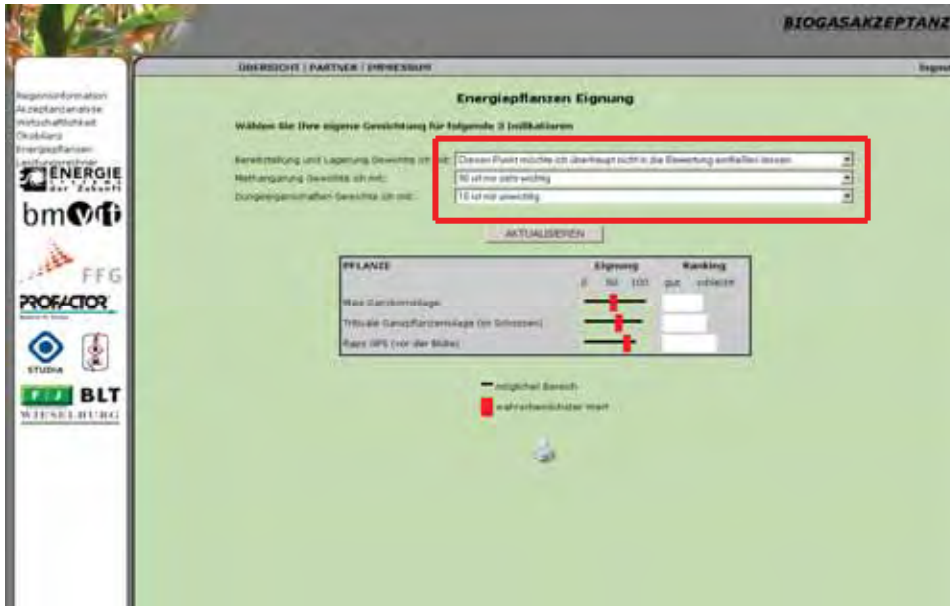


Die Bewertung der Eignung einer Energiepflanze erfolgt nach folgenden Kriterien:

- Bereitstellung und Lagerung
- Methangärung
- Düngeeigenschaften



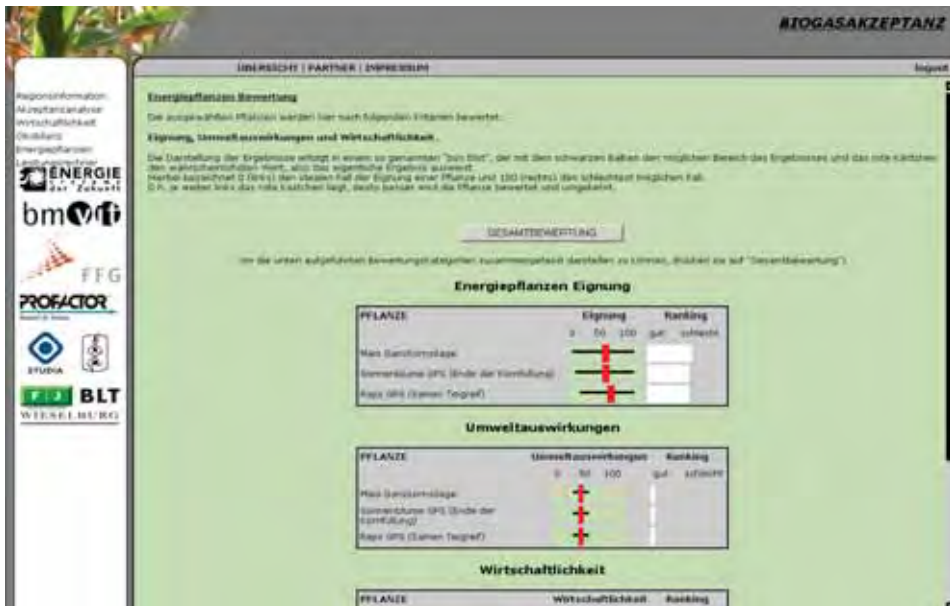
Über den Button Gesamtbewertung werden die ausgewählten Pflanzen gegenübergestellt und nach selbst zu gewichtenden Kriterien bewertet.



Die Gesamtbewertung der Pflanzen erfolgt nach den Gesichtspunkten:

- Eignung
- Umweltauswirkungen
- Wirtschaftlichkeit

Die Darstellung der Ergebnisse erfolgt in einem so genannten „box plot“, der mit dem schwarzen Balken den möglichen Bereich des Ergebnisses und das rote Kästchen den wahrscheinlichsten Wert, also das eigentliche Ergebnis ausweist.



Hierbei bezeichnet 0 den idealen Fall der Eignung einer Pflanze und 100 den schlechtest möglichen Fall.

D.h. je weiter links das rote Kästchen liegt, desto besser wird die Pflanze bewertet und umgekehrt.

7.3.2.6. Leistungsrechner

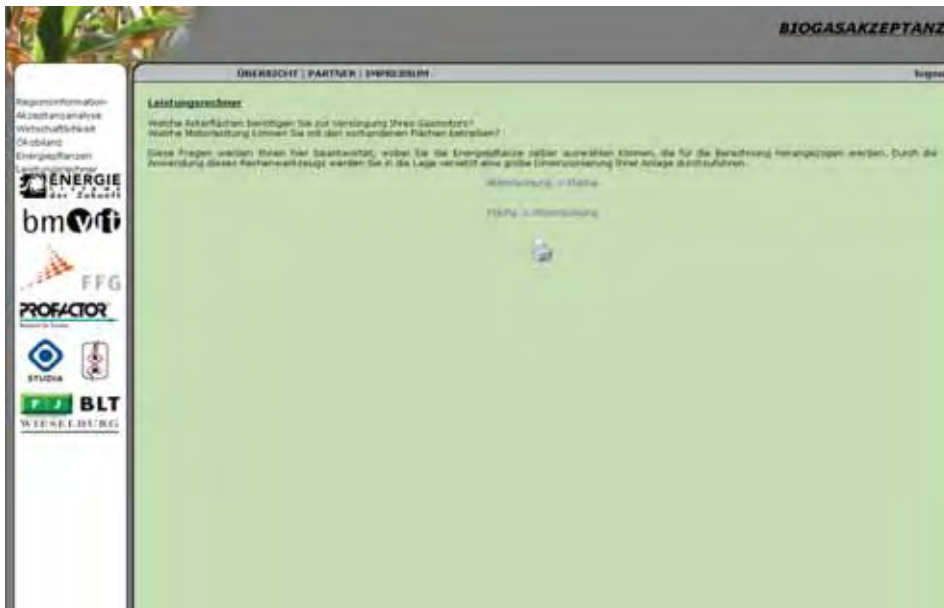
„Welche Ackerflächen benötigen Sie zur Versorgung Ihres Gasmotors?“

Welche Motorleistung können Sie mit den vorhandenen Flächen betreiben?

Diese Fragen werden Ihnen hier beantwortet, wobei Sie die Energiepflanze selber auswählen können, die für die Berechnung herangezogen werden.

Durch die Anwendung dieses Rechenwerkzeugs werden Sie in die Lage versetzt, eine grobe Dimensionierung Ihrer Anlage durchzuführen.

Das ist eines der wichtigsten Werkzeuge bei der Wahl der richtigen Größe einer Biogasanlage.“



Es ist möglich, durch die gewünschte Fläche die nötige Motorleistung, als auch über die Motorleistung die notwendigen Anbauflächen zu errechnen. So wird es im Vorfeld leichter, die Versorgung der Biogasanlage zu errechnen und sich rechtzeitig um langfristige Lieferverträge umzusehen.

Weiters erfährt man auf schnellem und zuverlässigem Weg, welche Größenordnung bezogen auf die elektrische Nennleistung bei den vorhandenen Energiepflanzen und Güllemengen sinnvoll ist.

8. Pilotanwendung des Tools

Das erarbeitete Tool wurde konkret an einer mit Energiepflanzen betriebenen Biogasanlage in Oberösterreich getestet. Aus Gründen des Datenschutzes und gemäß dem Wunsch des Betreibers wird die Anlage nicht genannt, sondern mit „Anlage S“ oder „Modellprojekt S“ bezeichnet.

Der Betrieb hat im Juni 2005 nach Anfrage durch die Landwirtschaftskammer mit STUDIA Kontakt aufgenommen. Nach einem Erstbesuch im Juli 2005 fiel rasch die Entscheidung, die Untersuchung auszuführen. Schon im August wurden 60 Fragebögen an den Betrieb versandt. Sie wurden im Umfeld persönlich ausgetragen. Ein Begleitschreiben, unterzeichnet vom Bürgermeister, von Profactor und dem Anlagenbetreiber bat die Befragten, aktiv und gewissenhaft an der Befragung teilzunehmen und versprach, im Herbst ein aussagekräftiges Ergebnis vorlegen zu können.

Die Anwendung erfolgte aus Sicht der Verfügbarkeit von Energiepflanzen im betreffenden Kleinproduktionsgebiet. Weiters wurde die Erhebung der Akzeptanz anhand des entwickelten Frage-Instruments durchgeführt und einer Auswertung unterzogen. Von den ausgegebenen 60 Fragebögen wurden 41 retourniert, was einer ungefähren Rücklaufquote von knapp 70 % entspricht. Alle Ergebnisse wurden in Form einer gut besuchten abendlichen Präsentation im Gemeindeamt vorgestellt.

8.1. Verfügbarkeit von Energiepflanzen im betreffenden Kleinproduktionsgebiet

Die Anlage S liegt im Kleinproduktionsgebiet (KPG) 604 „Oberes Innviertel“.

Der Anteil der landwirtschaftlichen Nutzfläche an der Gesamtfläche liegt zwischen 50 und 60 % (siehe Abbildung 42). Dies deutet auf einen höheren Waldanteil als in den benachbarten KPG hin. Da Wald kein Rohstofflieferant für Biogas ist, kann die Waldfläche bei der Potenzialberechnung nicht berücksichtigt werden.

Innerhalb der landwirtschaftlichen Nutzfläche sind das Ackerland und das Grünland die beiden wesentlichen Quellen für Gärsubstrat für Biogasanlagen. Der Anteil des Ackerlandes an der landwirtschaftlichen Nutzfläche liegt zwischen 40 und 50 % (siehe Abbildung 43). Der des Grünlandes liegt zwischen 50 und 60 % (siehe Abbildung 44). Das KPG 604 ist somit eine Übergangslage zwischen den Ackerbau dominierten und Grünland dominierten Gebieten. Damit kann das Grünland neben dem Ackerland eine bedeutende Quelle für Gärsubstrat darstellen.

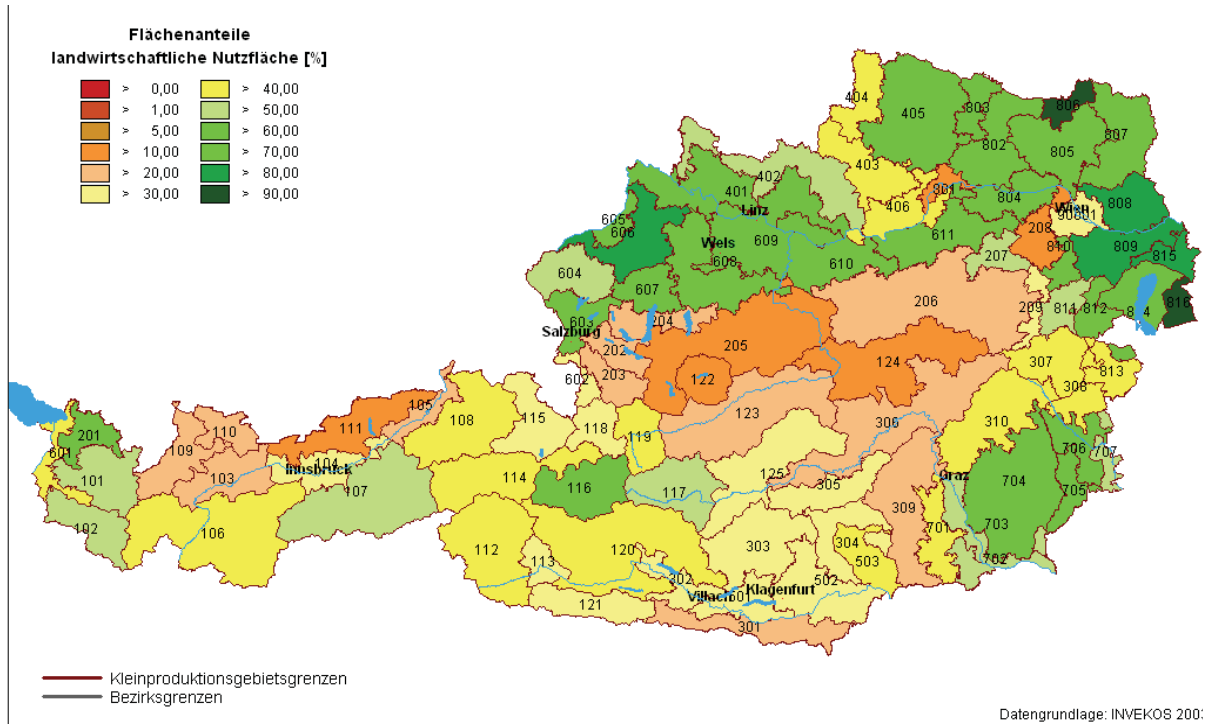


Abbildung 42: Anteil der landwirtschaftlichen Nutzfläche an der Gesamtfläche Österreichs

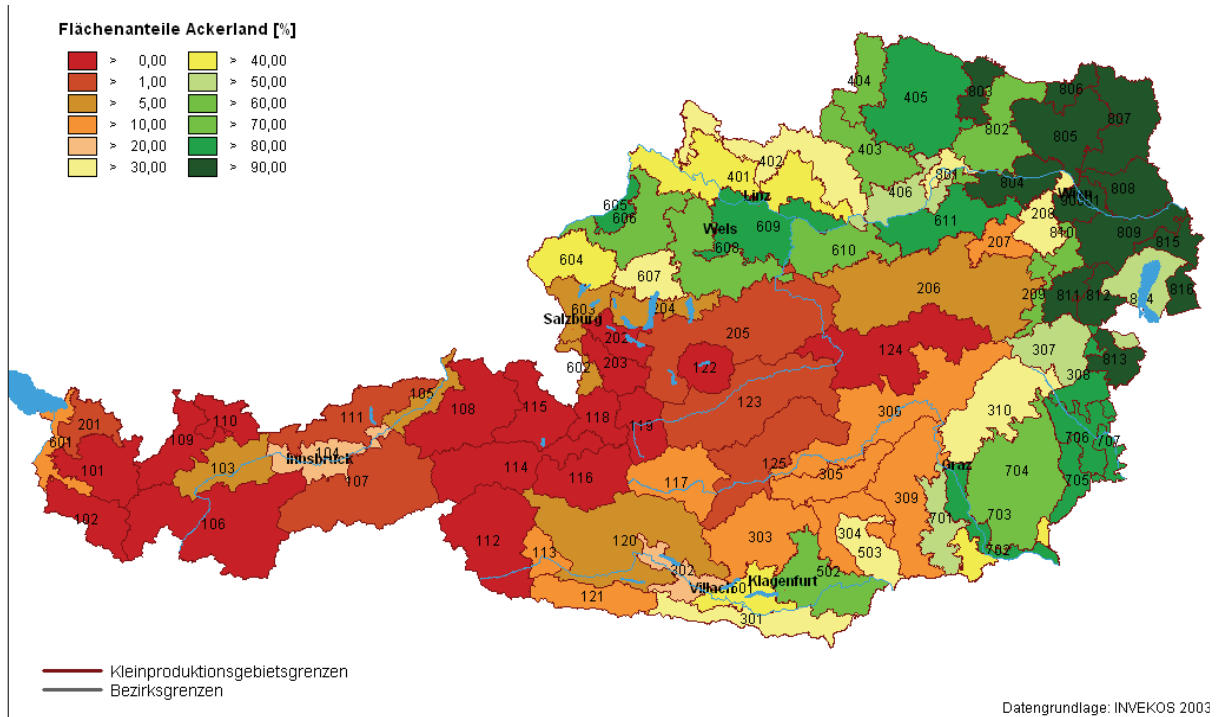


Abbildung 43: Anteil des Ackerlandes an der gesamten landwirtschaftlichen Nutzfläche

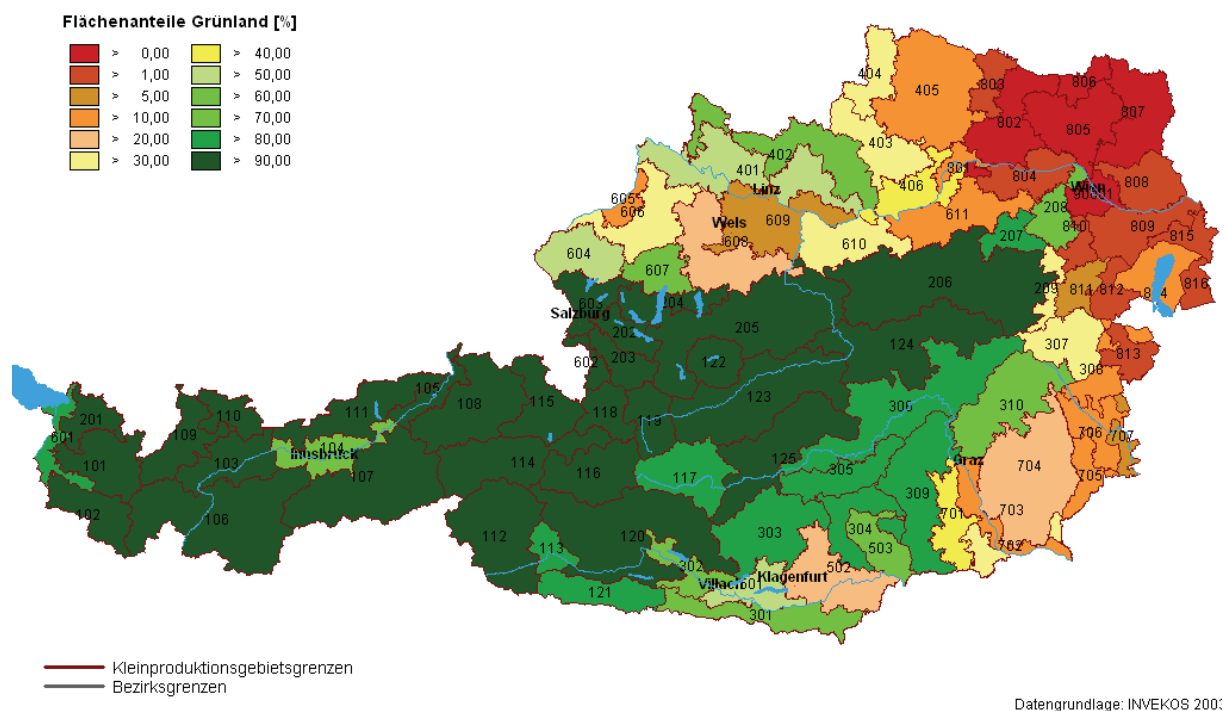


Abbildung 44: Anteil von Grünland [%] an der gesamten landwirtschaftlichen Nutzfläche

Am Ackerland wird vor allem Getreide und Mais angebaut. Wobei das Getreide rund 20 % der landwirtschaftlichen Nutzfläche bzw. rund 44 % der Ackerfläche ausmacht. Der Maisanteil beträgt rund 11 % der landwirtschaftlichen Nutzfläche bzw. rund 25 % der Ackerfläche. Der Mais wird vor allem als Silomais genutzt. Neben Mais und Getreide hat noch Klee gras mit rund 4 % der landwirtschaftlichen Nutzfläche bzw. rund 10 % des Ackerlandes eine größere Bedeutung. Die restliche Fläche wird im Wesentlichen mit Ölsaaten (Soja, Raps) und Körnerleguminosen (Erbse, Pferdebohne) bebaut. Auf stillgelegten Ackerflächen dürfen nachwachsende Rohstoffe angebaut werden, die in Biogasanlagen verwertet werden können. Ihre Bedeutung ist mit rund 2 % der landwirtschaftlichen Nutzfläche im KPG 604 im Vergleich zu Ackerbau dominierten Gebieten gering.

Neben der landwirtschaftlichen Nutzfläche stellen die Wirtschaftsdünger (Gülle) aus der Tierhaltung eine mögliche Quelle für Gärsubstrate dar. Gleichzeitig steht die Tierhaltung aber auch in Konkurrenz zur Biogasanlage, da auf den potenziellen Rohstoffflächen auch Futter produziert werden kann bzw. die Flächen für die Ausbringung des Wirtschaftsdüngers benötigt werden.

Zur Darstellung der Intensität der Tierhaltung in einem Gebiet wurden die Tierbestände (z.B. Rinder, Schweine, Schafe, usw.) in Düngergrößenvieheinheiten (DGVE) umgerechnet. Dadurch werden verschiedene Tierarten hinsichtlich der Wirtschaftsdüngerproduktion vergleichbar.

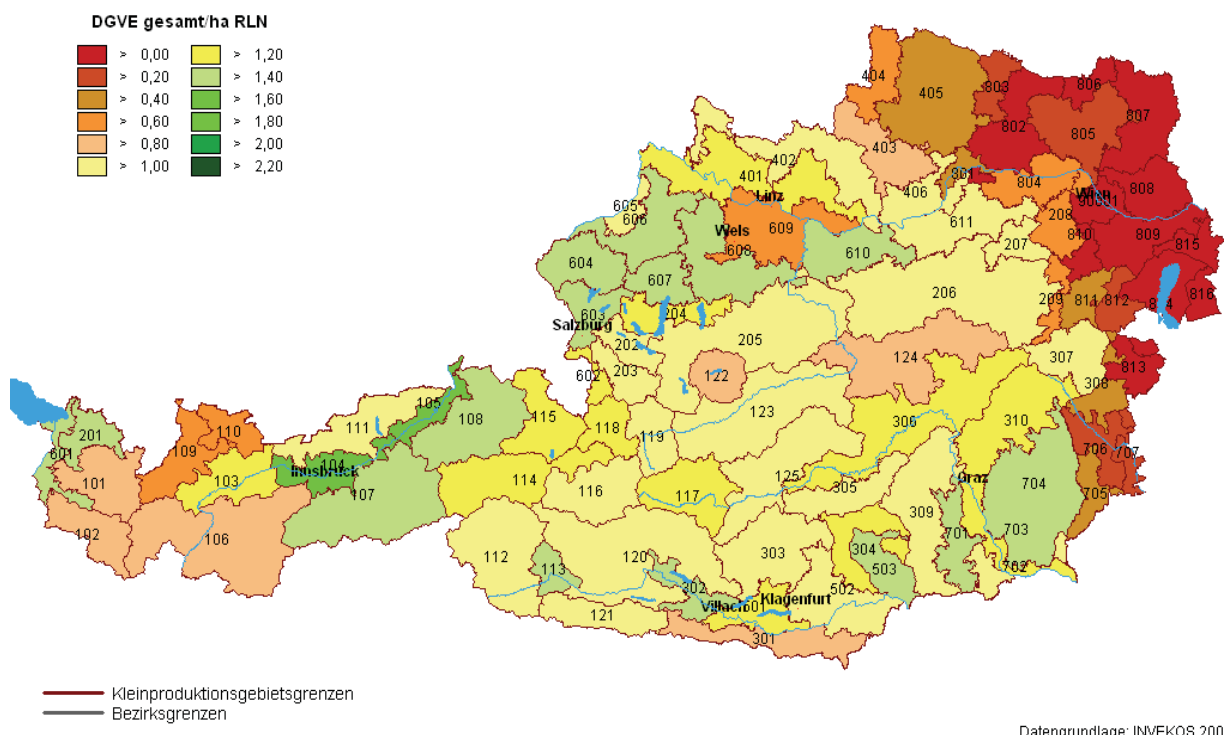


Abbildung 45: Gesamt-DGVE pro ha reduzierter landwirtschaftlicher Nutzfläche

Der Tierbesatz bezogen auf die reduzierte landwirtschaftliche Nutzfläche (RLN)²⁶ ist für die Abschätzung des Düngeranfalls von Bedeutung bzw. man kann damit ungefähr abschätzen, wie viel Gärrückstände aus dem Biogasprozess noch zusätzlich auf die vorhandenen Flächen ausgebracht werden können²⁷.

Es zeigt sich, dass das KPG 604 einen relativ hohen Tierbesatz aufweist (Abbildung 45). Dominierend ist die Rinderhaltung. Dies bedeutet, dass einerseits Wirtschaftsdünger als Gärs substrat zur Verfügung steht und andererseits es zur Konkurrenz zwischen Tierhaltung und Biogasproduktion um Anbauflächen kommen kann. Vor der Errichtung einer Biogasanlage muss daher sorgfältig die lokale Verfügbarkeit von Flächen für die Energiepflanzenproduktion und die Gärs substratausbringung geprüft werden.

Eine Aussage über das mögliche Potenzial von Gärs substrat in einer Region lässt sich aus der Antwort auf die Frage ableiten, wie viel der Ackerfläche in einem KPG für die Biogasproduktion zur Verfügung stehen würde, wenn der aktuelle Anbau von Sonderkulturen²⁸ und der aktuelle Flächenbedarf für die Tierhaltung beibehalten werden würde. Für die der Abbildung 46 zugrunde liegenden Berechnungen wurden die Ackerflächen für die unmittelbare Nahrungsmittelproduktion den potenziellen Flächen für

²⁶ Sie setzt sich zusammen aus den normalertragsfähigen Flächen (Ackerland, Hausgärten, Obstanlagen, Weingärten, Reb- und Baumschulen, Forstbaumschulen, mehrmähdigen Wiesen, Kulturweiden), den mit Reduktionsfaktoren umgerechneten extensiven Dauergrünlandflächen (einmähdige Wiesen, Hutweiden, Streuwiesen, Almen und Bergmähder). Die Reduktion für extensive Dauergrünlandflächen beträgt: einmähdige Wiesen: generell auf die Hälfte ihrer Fläche, Hutweiden: im Burgenland und in Niederösterreich auf ein Viertel, in den anderen Bundesländern auf ein Drittel, Streuwiesen: generell auf ein Drittel, Almen und Bergmähder: in Niederösterreich auf ein Drittel, in der Steiermark auf ein Viertel, in Oberösterreich auf ein Fünftel, in Salzburg auf ein Sechstel, in Kärnten und Vorarlberg auf ein Siebtel, in Tirol auf ein Achtel.

²⁷ Laut Aktionsprogramm 2003 dürfen maximal 170 kg N/ha und Jahr in Form von Wirtschaftsdüngern ausgebracht werden. Dies entspricht einer Höchstgrenze von 2,83 DGVE/ha, wenn man unterstellt, dass pro DGVE 60 kg N/Jahr anfallen. Zur Zeit wird aber noch diskutiert, ob der Gärrückstand von Biogasanlagen als Wirtschaftsdünger anzusehen ist oder nicht. Wird er nicht als Wirtschaftsdünger eingestuft, dürfen bis zu 210 kg N/ha und Jahr ausgebracht werden. Zusätzlich besteht die Möglichkeit, diesen Wert zu überschreiten, wenn eine wasserrechtliche Bewilligung vorliegt.

²⁸ z.B. Feldgemüse, Obst, Wein,

die Biogasproduktion zugerechnet, da unterstellt wurde, dass bei Nahrungsmitteln ein überregionaler Ausgleich erfolgt.

Abbildung 46 zeigt, dass im KPG 604 am Ackerland auf Grund der Viehhaltung keine freien Flächen für die Energiepflanzenproduktion zur Verfügung stehen. Dies bedeutet, dass Biogasanlagen, deren Rohstoffversorgung auf Ackerkulturen aufgebaut wird, die Tierhaltung verdrängen bzw. den Anteil der von außerhalb des Kleinproduktionsgebietes zugekauften Futtermittel erhöhen. Um ein vollständiges Bild bezüglich der Flächenbilanz eines Kleinproduktionsgebietes zu erhalten, müssen auch die Grünlandflächen betrachtet werden.

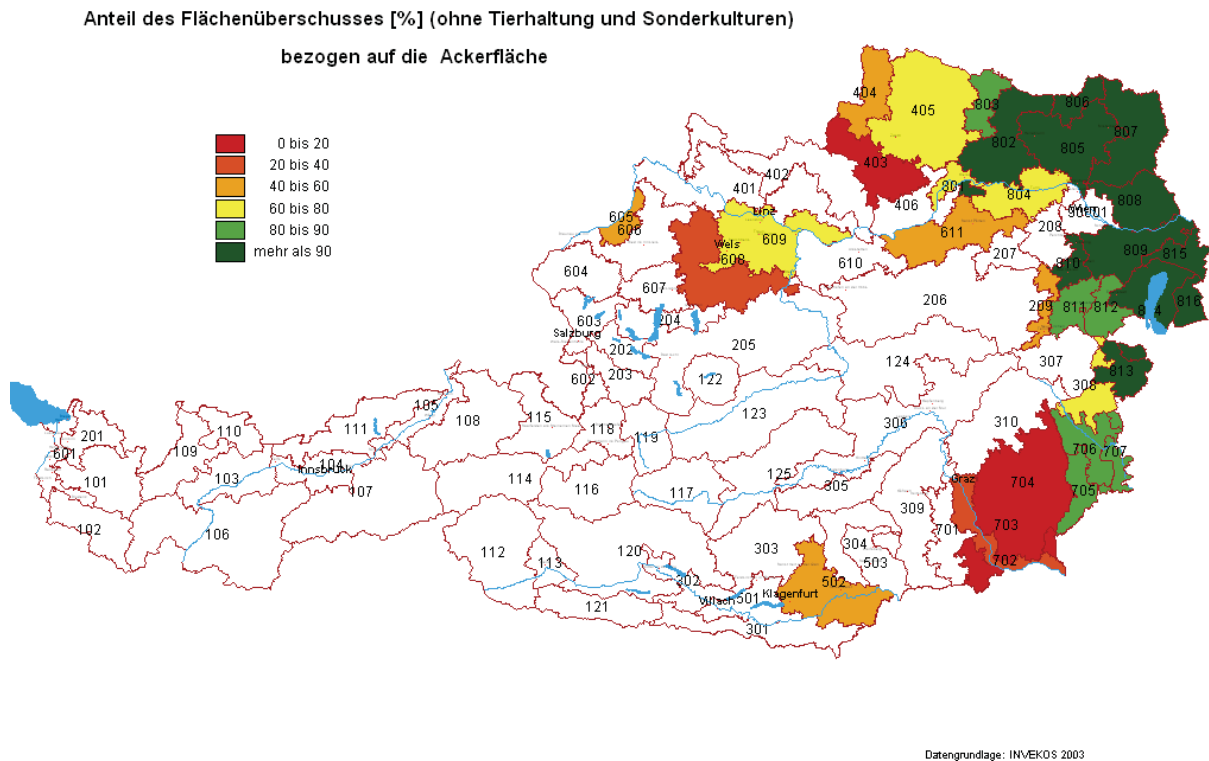


Abbildung 46: Anteil des Flächenüberschusses [%] bezogen auf die gesamte Ackerfläche in den jeweiligen Kleinproduktionsgebieten

In Abbildung 47 hat BUCHGRABER (2003) den jährlichen Trockenmassezuwachs auf dem Grünland der Tierzahlen und deren Futterbedarf vom Grünland im Jahr 2000 gegenübergestellt. Es zeigt sich, dass im KPG 604 auch im Grünland keine freien Flächen für die Energiepflanzenproduktion zur Verfügung stehen. BUCHGRABER (2003) erstellte auch für das Jahr 2010 eine Prognose, die für das KPG 604 im Grünland ebenfalls keine freien Flächen für die Energiepflanzenproduktion vorhersagt.

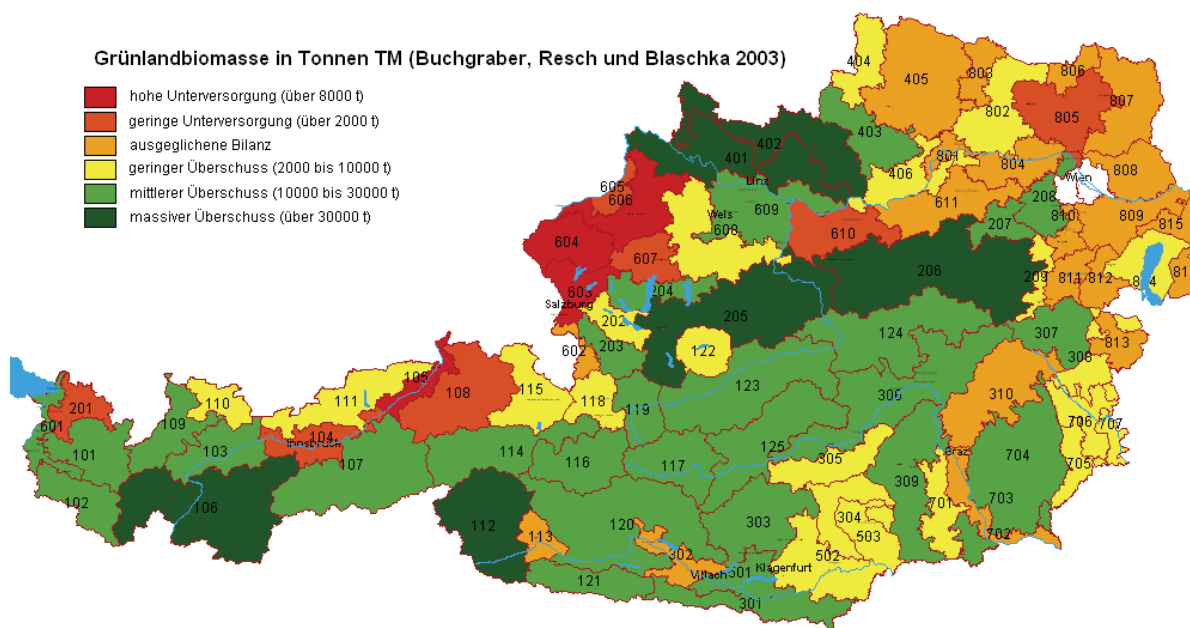


Abbildung 47: Bilanz zwischen Futterbedarf und Futterproduktion des Grünlandes in Österreich (Buchgraber 2003)

Dies bedeutet, dass Biogasanlagen die Tierhaltung verdrängen bzw. den Anteil der von außerhalb des Kleinproduktionsgebietes zugekauften Futtermittel erhöhen. Diese Aussage gilt für das KPG global. Lokal kann die Situation anders aussehen. Vor der Errichtung einer Biogasanlage muss daher sorgfältig die lokale Verfügbarkeit von Flächen für die Energiepflanzenproduktion und die Gärsubstratausbringung geprüft werden.

Um für die Kleinproduktionsgebiete Österreichs als Orientierungshilfe Trockensubstanzerträge der Energiepflanzen angeben zu können, wurden 5 verschiedene Szenarien mit zwei definierten Fruchtfolgen berechnet. Abbildung 48 zeigt die als Energiepflanzenpotenzial anfallende Menge an Trockensubstanz bezogen auf die Gesamtfläche²⁹ des jeweiligen Kleinproduktionsgebietes zum Zweck der Darstellung des spezifischen Potenzials in einem Gebiet. Anhand der Darstellungen soll vermittelt werden, ob es in einem KPG viel oder wenig Energiepflanzenpotenzial bezogen auf die Größe im Vergleich zu anderen KPG gibt. Die als FF 1 definierte Fruchtfolge weist die Glieder Sonnenblume – Mais – Sudangras – Mais auf. Für das in Abbildung 48 dargestellte Szenario wurden die Trockensubstanzerträge, die auf 10 % der Ackerfläche des Kleinproduktionsgebietes mit FF 1 geerntet werden können, mit jenen des überschüssigen Grünlands addiert (d.h. beim Grünland wurden nur diejenigen KPG zur Berechnung herangezogen, wo es überschüssige Grünlandbiomasse gibt). Das spezifische Potenzial wird in Kilogramm Trockensubstanz (TS) pro Hektar angegeben. Im KPG 604 ist das spezifische Potenzial auf Grund des hohen Wald- und Grünlandanteils sowie eines fehlenden Überschusses an Grünlandbiomasse mit 200–400 kg TS/ha relativ gering. Daraus folgt, dass bei Standortwahl sorgfältig darauf geachtet werden muss, dass es genügend Anbauflächen in der Nähe der Anlage gibt.

²⁹ Gesamtfläche = Landwirtschaftliche Nutzfläche + Waldfläche + Sonstige Flächen (Gewässer, verbautes Gebiet,)

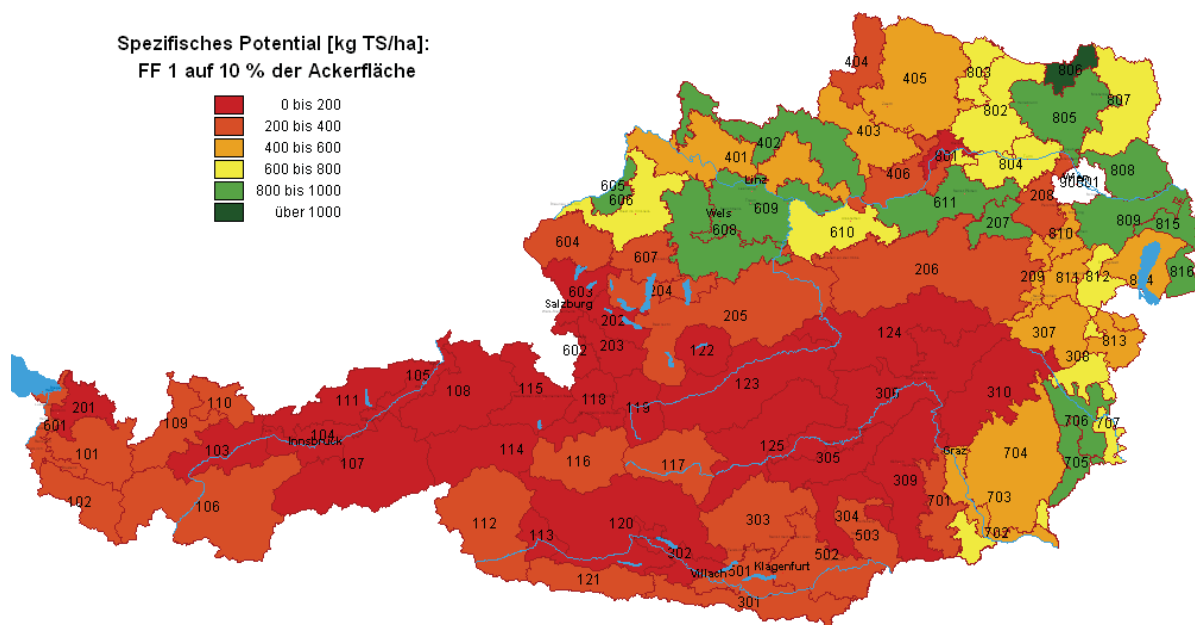


Abbildung 48: Spezifisches Potenzial für das Szenario Fruchtfolge 1 auf 10 % der Ackerfläche inkl. Überschuss aus dem Grünland

8.2. Akzeptanz

Der Ort des Modellprojekts liegt auf rund 400 Meter Seehöhe und grenzt unmittelbar an ein Waldgebiet. Ein Drittel des Gebiets wird landwirtschaftlich genutzt, überwiegend durch Futterbaubetriebe, das heißt Rinder werden gehalten und Grünland überwiegt gegenüber dem Ackerland. Zahlreiche Betriebe sind forstwirtschaftlich orientiert. Der Hauptort ist geprägt durch eine dörfliche Bebauung, in seinem Ortskern finden sich vorwiegend Einfamilienhäuser. Ein hoher Anteil, 80 % der Wohngebäude haben ein bis zwei Wohnungen.

Mitten im Hauptort, direkt an der Hauptstraße gelegen ist auch der Modellbetrieb der Familie S. Der Betrieb bewirtschaftet 35 ha Grünland, 18 ha Ackerland, 18 ha Wald und hält 80 Stück Vieh (Rinder). Die Biogasanlage wurde vom Betriebsführer errichtet. Die Verantwortung für den Betrieb übernimmt dessen Sohn und Hofnachfolger. 2005/2006 wird die Biogasanlage in Betrieb genommen. Die Anlage wird 100 kW an Strom liefern und 150 kW Wärme in das errichtete Nahwärmenetz mit einer Leitungslänge von 250–300 m einspeisen. Abnehmer der Wärme sind der eigene Hof und vier Nachbarn, womit die Kapazität der Anlage in ihrer jetzigen Konfiguration ausgeschöpft ist. Zur Sicherung der Wärmelieferung steht ein Ölbrenner zur Verfügung. Der Hauptfermenter fasst 1.000 m³ und weitere 1.500 m³ der Nachfermenter, der gleichzeitig als Endlager fungiert. Beide sind mit einer Betondecke gasdicht geschlossen, was eventuellen, durch den Gärrest verursachten Geruchsbelästigungen vorbeugt. Die Biogasanlage ist auf nachwachsende Rohstoffe ausgelegt und vergärt neben 1.000 m³ Gülle vom eigenen Betrieb noch Maissilage, Grassilage und Sonnenblumen. Um die nötigen Mengen an Substraten aufbringen zu können, wurden Lieferverträge mit vier Landwirten aus der Umgebung geschlossen.

Aufgrund einer fortgeschrittenen Zersiedlung ist der Hof ringsum von Häusern umgeben. Der nächste Nachbar ist nur 50 Meter entfernt. In einem Umkreis von 150 Meter Radius um die künftige Biogasanlage stehen rund 30 weitere Gebäude, viele von ihnen werden als Wohngebäude genutzt. Das bedeutet für den Betrieb ein theoretisch großes Potenzial an Wärmebedarf, aber macht es auch dringlich, sich mit den Nachbarn und Nachbarinnen abzustimmen und für ein gutes Miteinander zu sorgen. Der Hofnachfolger sagte: „Um Konflikten vorzubeugen, ist ein guter Kontakt unumgänglich.“

8.2.1. Die Akzeptanz in Gemeinde des Modellprojektes S (Abbildung 49)

Von den 60 ausgetragenen Fragebögen kamen 41 ausgefüllt wieder zurück. Die Rücklaufquote beträgt somit 68 % und signalisiert ein hohes Interesse am Thema wie auch eine hohe Bereitschaft, mit dem Modellprojekt ins Gespräch zu kommen. Von den Antwortenden waren 12 Frauen. Geantwortet haben vor allem KonsumentInnen – nur ein einziger weiterer Landwirt antwortete. Die Summenauswertung der Fragebögen ist in Anhang 14 gegeben.

Das *Modellprojekt S* erreichte auf der Skala einen Akzeptanz-Gesamtwert von 49. Dieser Akzeptanz-Gesamtwert ist durchaus befriedigend. Die Skala wird mathematisch zwar durch Extremwerte von 0 und 100 begrenzt, aber eine österreichische Vergleichsgruppe engagierter Landwirte erreichte auf ihr auch nur einen Wert von 60. In der Gemeinde des *Modellprojektes S* wurden zudem nicht Landwirte, sondern Konsumenten und Konsumentinnen befragt. Ihnen muss man zugestehen, weniger über Biogasanlagen und Energiepflanzen zu wissen und sich weniger für sie einzusetzen als die Landwirte. Daher halten wir die Akzeptanz in der Gemeinde des *Modellprojektes S* für zufriedenstellend, vielleicht ist sie in der einen oder anderen Weise verbesserbar. Ein Benchmarking, das uns zeigen würde, wie die Gemeinde des *Modellprojektes S* relativ zu anderen Orten liegt, gibt es noch nicht – wir nehmen die Werte daher absolut und ziehen aus ihnen weitere Schlüsse.

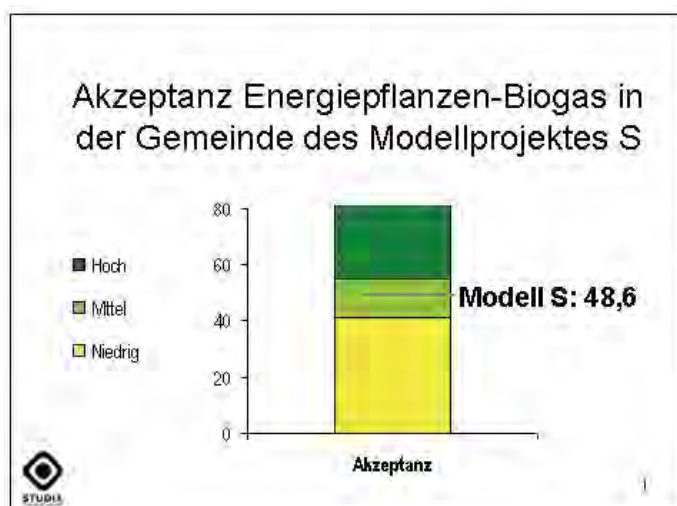


Abbildung 49: Akzeptanz von Energiepflanzen in der Gemeinde des Modelprojektes S

Die Akzeptanz einer Biogasanlage in der Gemeinde des Modellprojektes S ist zufriedenstellend gegeben. Gegen das Projekt und seinen Betrieb mit Energiepflanzen bestehen keine Einwände.

8.2.2. Aufmerksamkeit wecken (Abbildung 50)

Insgesamt zeigt sich in allen Indikatoren, dass die Gemeinde des Modellprojektes ähnlich positiv wie die Vergleichsgruppe des Prätests antwortete. Bei allen neun Dimensionen der Akzeptanz liegen die Werte für das *Modellprojekt S* dicht unter denen der Vergleichsgruppe, mit zwei Ausnahmen: In der aktivierten Akzeptanz und in der Aufmerksamkeit fällt die Gemeinde des *Modellprojektes S* ein wenig ab. Das regt an, diese beiden Faktoren näher zu betrachten. In der Interpretationshilfe finden wir dazu die folgenden Hinweise:

„Aufmerksamkeit ist ein Begriff aus der Werbebranche. Wer Aufmerksamkeit erreicht, kann Interesse wecken und den Wunsch hervorrufen, ein Produkt zu besitzen oder es zu nutzen. Aufmerksamkeit ist die erste Stufe auf einer Treppe, die dahin führt, dass schließlich eine Handlung oder ein Kauf ausgelöst werden. Auch eine Biogasanlage auf der Basis von Energiepflanzen muss ‚gekauft‘ werden.“

Ihre Marktpartner sollen mit Ihnen gemeinsam Ihr Projekt vorantreiben. Die Energiepflanze ist das erste Element in der Verarbeitungskette. Erwecken Energiepflanzen in Ihrer Umgebung Aufmerksamkeit? Der Ökostrom ist eines der letzten Elemente in der Verarbeitungskette. Haben Ihre Marktpartner schon einmal davon gehört? Der Themenblock Aufmerksamkeit ermittelt dazu einen Indikator. Er gibt Ihnen zu erkennen, ob Ihre Kunden und Kundinnen die allererste Hürde überwunden haben, die genommen werden muss, bevor überhaupt Interesse geweckt werden kann.

Zusammensetzung aus folgenden Fragen: In Österreich bemüht man sich, Energiepflanzen aus der Landwirtschaft zu nutzen, um Gebäude zu heizen und Strom zu erzeugen. Haben Energiepflanzen eine Bedeutung für Sie persönlich, für Ihren Tagesablauf, Ihre Arbeitswelt oder Umwelt? Energiepflanzen sind für mich derzeit völlig unwichtig, eher unwichtig, eher wichtig, sehr wichtig. – Und in 10 Jahren? Ich schätze, Energiepflanzen sind dann für mich völlig unwichtig, eher unwichtig, eher wichtig, sehr wichtig. – Haben Sie bereits von einem „grünen“ oder „Öko“ Stromtarif gehört?“

Indem man auf die Fragen zurückgeht, die hinter dem Index „Aufmerksamkeit“ stehen, wird man das Ergebnis verstehen. Aufmerksamkeit zu erhöhen, ist mit geringen Mitteln möglich. Die Aufmerksamkeit in der Gemeinde des *Modellprojektes S* sollte sich bereits jetzt verbessert haben – denn die durchgeführte Befragung erweckte Aufmerksamkeit.

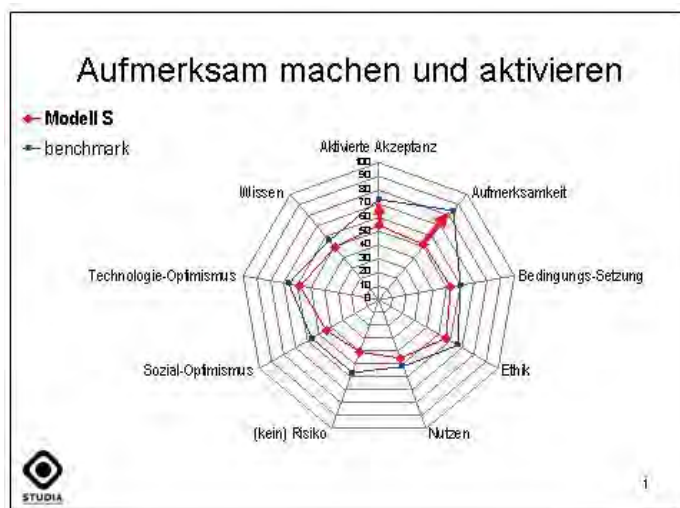


Abbildung 50: Situation in Bezug auf Aufmerksamkeit

Die Betreiber des Modellprojektes S sollten sich weiterhin bemühen, auf sich aufmerksam zu machen. Dazu reichen geringe Mittel, wenn sie kontinuierlich sind, wie etwa ein Tag der offenen Tür, kleinere Veranstaltungen, Vorträge.

8.2.3. Akzeptanz aktivieren (Abbildung 51)

Ähnlich wird bei der anderen Auffälligkeit, der „aktivierten Akzeptanz“, verfahren. Die Erhebung der „aktivierten Akzeptanz“ gliedert sich in vier Komponenten. Die erste betrifft die Energiepflanzen: Sollen sie – ganz allgemein – verwendet werden, bevorzugt verwendet werden, künftig ausschließlich verwendet werden? Eine zweite Komponente befasst sich mit speziellen Energiepflanzen: Mais, Getreide, Gras – sollen sie verwendet werden, um Wärme und Strom zu erzeugen? Den befragten Bäuerinnen und Bauern wird zudem eine längere Liste solcher Energiepflanzen vorgelegt. Die dritte Komponente thematisiert das Nahwärmenetz – gilt es als Alternative zu einer herkömmlichen Einzelfeuerung? Schließlich, viertens, wird der eigene Beitrag zu einem Biogasprojekt angesprochen. Worin kann ein solcher Beitrag liegen? Abgefragt wird, wer Energiepflanzen auf dem eigenen Betrieb erzeugen will, Raum für die Biogasanlage auf dem eigenen Grund geben, eine Biogasanlage betreiben,

Strom erzeugen, ein Nahwärmenetzwerk betreiben will; wer bereit ist, Geld zu investieren oder etwas anderes zu einem Energiepflanzen-Biogasprojekt beitragen will.

Gerade diese letzten Punkte unterscheiden Konsumenten von engagierten Landwirten: Landwirte sind ja vielfach bereit, in eine Anlage zu investieren – von einem Konsumenten, einer Konsumentin kann das nicht unbedingt erwartet werden. Darum sinken bei einer Befragung von Konsumenten auch die Werte ab. Die nächste Grafik zeigt das ganz deutlich und gibt uns weitere Hinweise.

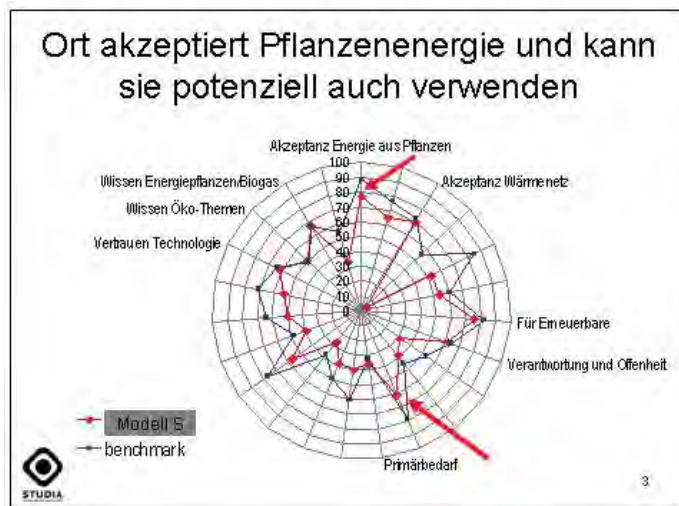


Abbildung 51: Aktivieren der Akzeptanz

8.2.4. Wärmerezepte und Energie aus Pflanzen sind in der Gemeinde des Modellprojektes S akzeptiert

Die 23 Dimensionen vermitteln ein differenziertes Bild der einzelnen Themenblöcke. Ganz klar kommt zum Ausdruck, dass ein Wärmerezepte in der Gemeinde des *Modellprojektes S* akzeptiert ist. Das Thema Energie aus Pflanzen wird überhaupt stark befürwortet und erreicht, wie auch das Thema „Erneuerbare Energieträger“ Akzeptanzwerte von 80 Punkten. Man weiß in Gemeinde des *Modellprojektes S* einiges über Energiepflanzen und Biogas, kennt sich bei Ökothemen aus und hat auch Vertrauen in moderne Technologie. Erfreulich ist auch der relativ hohe Primärenergiebedarf in der Gemeinde des *Modellprojektes S*: Man meint, dass ein unmittelbarer Bedarf im Umfeld der Anlage besteht. Wir vermuten, dass dies mit der dichten Besiedlung rund um die Anlage zu tun hat. Der Primärenergiebedarf erreicht in der Gemeinde des *Modellprojektes S* ein höheres Niveau als in der Vergleichsgruppe – nicht viele Anlagenbetreiber dürfen sich über so viele potenzielle Wärmeabnehmer in der Nachbarschaft freuen wie die Betreiber des *Modellprojektes S*.

In der Gemeinde des Modellprojektes S ist man neuen Technologien und ökologischen Gedanken durchaus aufgeschlossen. Der Betrieb kann darauf aufbauen. Er wird Image gewinnen, wenn er darstellt, mit welchen Technologien er arbeitet und welche ökologischen Ziele er verfolgt. Mit „Energie aus Pflanzen“ spricht er viele AnrainerInnen an.

8.2.5. Den Frauen im Netzwerk eine Rolle geben (Abbildung 52)

Energieversorgung ist auch ein Frauenthema. Bei der Befragung haben einige Frauen geantwortet. Ihr Antwortprofil ist mit dem der Männer durchwegs vergleichbar, allerdings mit zwei bemerkenswerten Ausnahmen: beim „Wissen um Energiepflanzen“ fallen die Frauen leicht ab gegenüber den Männern, während sie in der Aufmerksamkeit und vor allem im Sozialoptimismus den Männern überlegen sind. Hieraus können sich zwei interessante Schlussfolgerungen ergeben.

Erstens, Frauen könnten sich besonders einbringen, wenn es darum geht, das Thema Energiepflanzen im Ort des *Modellprojekts S* zu besprechen und zu bewerben. Sozialoptimismus ist die Erwartung, dass die Ebene der zwischenmenschlichen Beziehungen intakt und funktionsfähig ist. Im sozialen Miteinander werden keine Hemmnisse geortet. Das kommunale Klima gilt als unterstützend, und den Akteuren und Akteurinnen wird Vertrauen entgegengebracht. Eine Energiepflanzen-Biogasanlage kann sich dann auf ein tragfähiges Beziehungsgeflecht stützen. Die Marktpartner finden leicht zueinander. In der Gemeinde herrschen keine starken Spannungen und Konflikte, es überwiegt ein Klima der Zusammenarbeit, Bürger und Bürgerinnen werden in Entscheidungen einbezogen. Ideen werden rasch zu erfolgreichen Projekten. Man vertraut den LandwirtInnen am Ort, den Unternehmen, der Kommune und auch allen anderen, die entscheidend sind, wenn etwas umgesetzt werden soll. – Wenn Frauen in Gemeinde des *Modellprojekts S* sozialoptimistischer sind als Männer, dann haben sie auch einen leichteren Zugang zu vielen Personen. Ein Energieprojekt, das sich harmonisch und dauerhaft einfügen will, sollte auf den Sozialoptimismus der Frauen in geeigneter Weise zugreifen.

Zweitens, die Wissenssicherheit der Frauen sollte aufgebessert werden; Frauen geben weniger als Männer an, über Ökoenergiethemen informiert zu sein. Möglicherweise fehlt ihnen Wissen über diese Themen, möglicherweise jedoch nur die Sicherheit. Hier lassen sich viele unterstützende Maßnahmen vorstellen. Wenn sich Frauen in das Thema einbringen sollen, müssen sie auch informiert und darin sicher sein.

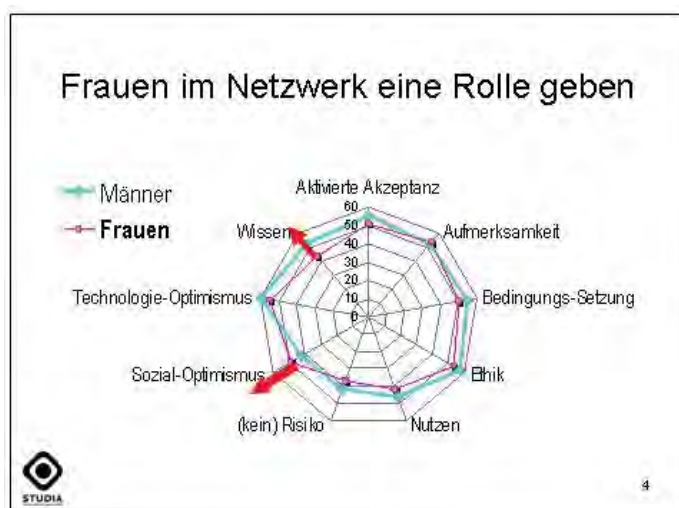


Abbildung 52: Die Rolle der Frauen im Netzwerk

Frauen sollten in der Gemeinde des Modellprojekts S im Netzwerk um das Modellprojekt eine Rolle erhalten, die die Akzeptanz fördert. Frauen könnten bei Einladungen, Veranstaltungen, Führungen besonders angesprochen werden – sie könnten beitragen, das Thema Biogas und Energiepflanzen zu vermitteln.

8.2.6. Energiepflanzen helfen Kosten sparen (Abbildung 53 und Abbildung 54)

Akzeptanz wird immer auch von den erwarteten Kosten beeinflusst – *Modellprojekt S* kann hier auf optimistische Erwartungen setzen. Man sagt voraus: Energiepflanzen helfen künftig Kosten einsparen. Ein knappes Drittel noch ist überzeugt, dass Energiegewinnung aus Energiepflanzen heute teurer sei als ein herkömmlicher Energieträger wie Öl, Kohle oder Gas. In 10 Jahren sei dieser Preisvorteil jedoch vorbei. Darin sind sich alle Befragten einig. Kein einziger nimmt an, dass Energiepflanzen künftig teurer sein werden als herkömmliche Energieträger.

Aus dieser positiven Gesinnung leitet sich ein erhebliches Marktpotenzial ab. Viele Befragte, 60 %, können sich persönlich den Anschluss an ein Netz, das Wärme aus Energiepflanzen erzeugt, als zusätzliche Alternative vorstellen – vorausgesetzt die Versorgung passt und die Kosten sind vergleichbar mit denen einer Öl- oder Gasheizung. Ein ebensolcher Prozentsatz der Befragten denkt an einen Anschluss in 10 Jahren. Knapp die Hälfte, 49 % (!) können sich einen Anschluss an ein solches Wärmenetz schon jetzt vorstellen. Nur 5 % wollen sich keinesfalls anschließen.

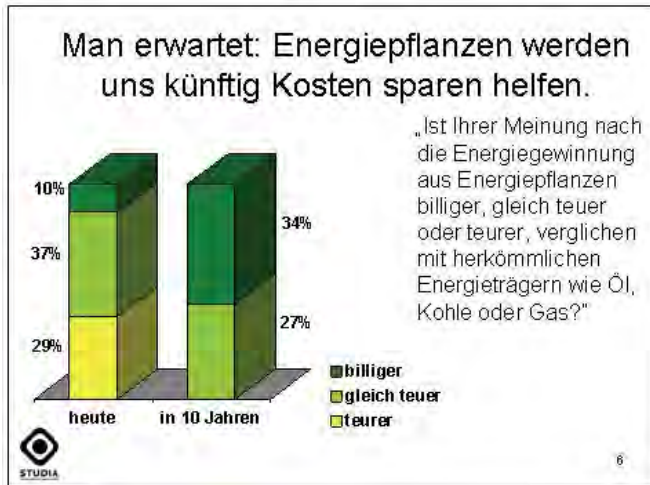


Abbildung 53: Erwartung an die Kostenentwicklung

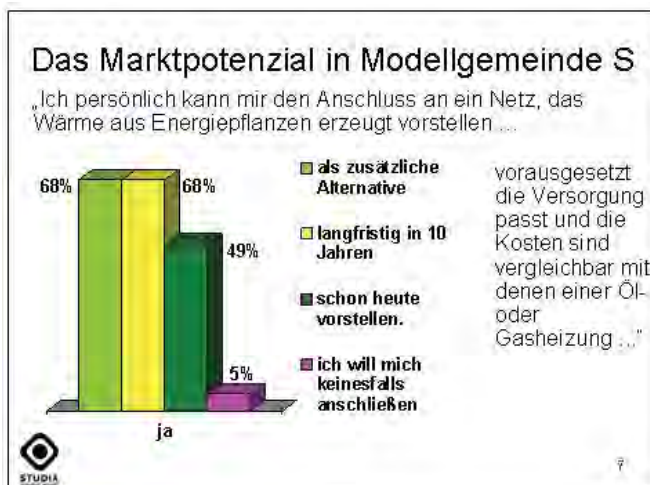


Abbildung 54: Einschätzung des Marktpotenzials

Um für Energie aus Pflanzen zu werben, sollte auch mit den günstigen Kosten und Kostenerwartungen argumentiert werden.

8.2.7. Die Gemeinde soll unterstützen (Abbildung 55)

Förderungen sollten breit akzeptiert sein, eine Gemeinde hat schließlich viele Aufgaben zu bewältigen. Wie öffentliche Mittel zu verwenden sind, wird daher zu Recht immer häufiger hinterfragt. Die Rolle der Gemeinde des Modellprojektes S hat der Bürgermeister persönlich in die Befragung hineinreklamiert: „Soll die Gemeinde ein derartiges Projekt unterstützen?“ Die Antwort fiel eindeutig aus: Ja. Voll zustimmen würden 66 % der Befragten, wenn die Gemeinde sich unterstützend engagiert, 24 % unterstützten das teilweise – niemand lehnt ein Gemeinde-Engagement ab. Ein starkes Bekenntnis von zwei Dritteln der Befragten und keine einzige Ablehnung geben der Gemeinde den gehörigen

Rückhalt für ein Engagement, sie geben ihr zu verstehen, dass beim Thema Bioenergie auch politisch gehandelt werden soll.



Abbildung 55: Die Rolle der Gemeinde

Wenn die Gemeinde des Modellprojekts S ein Bio-Energie Projekt unterstützt, wird sie auf weitaus überwiegende Zustimmung in der Bevölkerung treffen.

8.3. Zusammenfassung

Das erarbeitete Tool wurde am *Modellprojekt S* in Oberösterreich getestet. Da die Eignung von Energiepflanzen standortunabhängig ist, wurde diese in diesem Kapitel nicht weiter betrachtet, sondern der Schwerpunkt auf die Verfügbarkeit und sozio-ökonomischen Akzeptanz gelegt.

8.3.1. Verfügbarkeit

Der Anteil der landwirtschaftlichen Nutzfläche im KPG des Modellprojekts S an der Gesamtfläche liegt zwischen 50 und 60 %. Dies deutet auf einen höheren Waldanteil als in den benachbarten KPG hin. Der Anteil des Ackerlandes an der landwirtschaftlichen Nutzfläche liegt zwischen 40 und 50 % und der des Grünlandes zwischen 50 und 60 %. Es ist somit eine Übergangslage zwischen den Ackerbau- und Grünland-dominierten Gebieten. Daher muss auch die Nutzung von Grünland zur Biogasgewinnung bei der Anlagenplanung berücksichtigt werden. Am Ackerland haben Getreide und Mais die größte Bedeutung. Stilllegungsflächen sind kaum vorhanden.

Die Tierhaltung hat eine relativ große Bedeutung, wobei die Rinderhaltung dominiert.

Sowohl beim Grünland als auch beim Ackerland gibt es zurzeit keinen Flächenüberschuss. Dies bedeutet, dass Biogasanlagen die Tierhaltung verdrängen bzw. den Anteil der von außerhalb des Kleinproduktionsgebietes zugekauften Futtermittel erhöhen. Das spezifische Potenzial ist auf Grund des hohen Wald- und Grünlandanteils sowie eines fehlenden Überschusses an Grünlandbiomasse mit 200–400 kg TS/ha relativ gering. Diese Aussagen gelten für das KPG global. Lokal kann die Situation anders aussehen. Vor der Errichtung einer Biogasanlage muss daher sorgfältig die lokale Verfügbarkeit von Flächen für die Energiepflanzenproduktion und die Gärsubstratausbringung geprüft werden.

Aus der Auswertung wird ersichtlich, dass das Tool eine erste Richtung bezüglich der Verfügbarkeit von Energiepflanzen in einem KPG aufzeigt. Lokal muss in einem weiteren Schritt die Situation genauer erfragt werden. Die Richtigkeit der Aussagen wurde jedoch eindeutig nachgewiesen. So kann

die Anlage S nur bestehen, da die Dimensionierung richtig gewählt ist (150 kW, damit eine eher kleine Anlage) sowie die Versorgung mit Substrat über Eigenanbau sichergestellt ist.

8.3.2. Akzeptanz

Die regionale Akzeptanz der Anlage S kann durchaus als „zufrieden“ stellend bezeichnet werden. Die Tatsache, dass die Rücklaufquote des Fragebogens mit 68 % sehr hoch ist, spricht auch für die hohe Anerkennung des Betreibers S in der Gemeinde. Sein persönliches Engagement und auch das der offiziellen Gemeindevertretung waren auch mit ein Grund für den guten Besuch der Abendveranstaltung zur Ergebnis-Präsentation.

Für die Anwendbarkeit des Tools ergeben sich positive Schlussfolgerungen, indem eindeutig die Aussagekraft demonstriert wurde und die Ergebnisse auch entsprechend treffend waren. Sie dienen weiters als Grundlage für Empfehlungen an den Anlagenbetreiber. Interpretationshilfen, wie sie im Projekt erarbeitet wurden und im Arbeitshandbuch dokumentiert sind, stellen eine nützliche Hilfe dar, die Unterstützung durch Experten in der Akzeptanzanalyse sollte allerdings vor allem bei aus Sicht der Akzeptanz kritischen Anlagen wahrgenommen werden.

9. Verwertung der Ergebnisse

9.1. Bisherige Verwertung

- Begleitung eines realen Modellfalls (*Modellprojekt S* in Oberösterreich), inklusive Erstberatung des Projektbetreibers, Ausführung und Auswertung der Befragung am Ort des Betreibers (mit hohem Rücklauf von über zwei Drittel der ausgegebenen Fragebögen), Beratungsgespräch zur Bedeutung der Ergebnisse für den Betreiber
- Vorbereitung und Durchführung einer lokalen öffentlichen Ergebnis-Präsentation für das *Modellprojekt S* mit circa 70 Teilnehmern und Teilnehmerinnen. Die lokale Anlage und die Ergebnisse aus der lokalen Akzeptanzanalyse wurden vorgestellt und damit eine Qualifizierungsmaßnahme für die TeilnehmerInnen gesetzt (Thema „Biogas“ und „Energiepflanzen“). Verantwortliche aus der Lokalpolitik, der Betreiber der entstehenden Anlage und AnrainerInnen kamen bei dieser Gelegenheit miteinander ins Gespräch und äußerten ihre Vorstellungen. Vieles deutet darauf hin, dass Interesse und sogar „Anschlusswunsch“ an das entstehende Wärmenetz erweckt wurden.
- Alle Projektergebnisse sind in Form von PDF-Dateien auf der Homepage www.biogasakzeptanz.at verfügbar.
- Die Homepage bietet weiters eine Informations-Datenbank zur Online-Abfrage zum Thema Eignung und Verfügbarkeit von Energiepflanzen (teilweise interaktiv).
- Präsentation des Projekts im Rahmen der EdZ-Workshops
- Im Mitteilungsblatt *Nachwachsende Rohstoffe*, Mitteilungen der Fachbereichsarbeitsgruppe wird ein Beitrag erscheinen.
- Weiters wird der Bericht auf der Homepage der BLT veröffentlicht.
- Schulung von Lehrern an der Höheren Bundeslehr- und Forschungsanstalt Francisco-Josephinum
- Vortrag vor Studenten der FH Wr. Neustadt und der Universität für Bodenkultur

9.2. Künftige Verwendung und Verwertung

- Es bestehen bereits Anfragen zur Verwendung des Tools an Biogasanlagen. Sobald der Bericht durch die FFG / das BMVIT freigegeben ist, wird das Tool aktiv beworben.
- Präsentation auf einem internationalen Workshop: STUDIA wird Ergebnisse aus der Akzeptanzanalyse und methodische Konsequenzen auf einem internationalen und öffentlichen Workshop im Rahmen der Concerted Action CAMELIA „Concerted Action Multigeneration Energy Systems with Locally Integrated Applications“ präsentieren, Datum: 17. Mai 2006, Steyr
- Daraus ergibt sich auch eine Publikationsmöglichkeit im Rahmen der Proceedings der Konferenz.
- STUDIA reichte im Rahmen von „Energiesysteme der Zukunft“ ein Nachfolge-Projekt „E-Gl: Biomasse und Biogas in neuen Anwendungen – Benchmarks und Strategien für die Akzeptanz“ ein und plant möglicherweise eine zweite Einreichung, nachdem dieses Projekt in der Jurysitzung vom 15./16. Dezember 2005 abgelehnt wurde. Am 7.3.2006 findet eine Vorbesprechung mit einem Vertreter der Programmleitung/ Arbeitsgruppe statt.
- Diverse Anfragen, auch aus dem Ausland, zeigen, dass das Instrument bei möglichen Anwendern Interesse findet, insbesondere bei Beratern für Biogasanlagen. Überlegt ist der Auf-

bau eines Serviceangebotes für Biogasanlagenbetreiber, in dem Akzeptanzberatung, technische Beratung und Akzeptanzanalyse kombiniert werden. Realisiert werden könnte ein solches Angebot durch eine Partnerschaft von Akteuren aus dem bisherigen Konsortium und Energieberatern, Landwirtschaftsberatern oder Regionalentwicklern. Auch regionale Fördermittel einzelner Bundesländer oder der LEADER Gemeinschaftsinitiative könnten angesprochen werden, um Landwirten eine finanzielle Unterstützung bei der Realisierung zu geben.

- Dies würde uns auch dem Ziel näher bringen, das Akzeptanztool in Richtung eines Benchmarkings auszubauen. Eine Voraussetzung dazu wäre, erstens das Tool häufiger anzuwenden und jeweils spezifisch für den Anwendungsfall auszuwerten, und – zweitens – eine Metaauswertung über alle dann erzielten Modellfälle zu ermöglichen, um Fälle von relativ guter Akzeptanz von solcher mit schlechter Akzeptanz zu scheiden. Auch eine Kombination mit der entstehenden Profactor-Datenbank „Best Biogas Practice“ und eine analytische Auswertung wären sinnvoll unter den Aspekten der Kalibrierung und des Benchmarkings.
- Das entwickelte Tool wird in einem bereits genehmigten Nachfolgeprojekt im Rahmen der Energiesysteme der Zukunft („Biovision – Nahversorgung mit Kälte, Wärme, Strom und anderen Leistungen unter Nutzung von stationären Brennstoffzellensystemen“) eingesetzt und weiter entwickelt.
- Ein Nachfolgeprojekt könnte durchaus auch im europäischen Rahmen überlegt werden, wenn das siebte Forschungsrahmenprogramm dafür Unterstützung bietet.

10. Schlussfolgerungen

10.1. Was sind die in dem Projekt gewonnenen Erkenntnisse? (Fachliche Einschätzung)

Das Projekt setzte eine stark interdisziplinäre Auseinandersetzung mit dem Thema Biogas aus Energiepflanzen voraus. Das Team bestehend aus wissenschaftlichen Partnern in den Gebieten Technologie der Biogaserzeugung aus Energiepflanzen, ökonomische und ökologische Aspekte der Produktion und Nutzung von Biogas sowie der Akzeptanzforschung konnte das Projekt zu einem äußerst erfolgreichen Ende führen. Das Ergebnis ist ein Internet-basiertes Informations- und Bewertungs-Tool, das registrierten BenutzerInnen kostenlos zur Verfügung steht.

Das Projekt hat eine wertvolle Datenbasis zur Verfügbarkeit von Energiepflanzen in Österreich auf Basis von INVEKOS-Daten geschaffen. Die grafische Darstellung gibt sehr schnell einen Überblick über die Situation, bedarf jedoch eine intensiveren Auseinandersetzung mit der Verfügbarkeit von Energiepflanzen, sobald ein Biogas-Projekt in die Detailplanung geht. Dies ist bedingt durch die Auflösung der Darstellung auf Kleinproduktionsgebiete in Österreich. Da Hektarerträge sehr stark standortabhängig sind, ist ein „Lokalausweis“ unumgänglich. Alle Ergebnisse sind als Datenbank auf der Homepage verfügbar, in dieser Form einzigartig für Österreich.

Die Eignung von Energiepflanzen zur Biogaserzeugung wurde mit einem neuartigen Ansatz, dem Composite Programming beschrieben. Dieses bietet die Möglichkeit, Wertebereiche abzubilden und Gewichtungsfaktoren einzuführen. Durch die Reduktion der errechneten Werte auf dimensionslose Zahlen (Indices) ist auch die Aggregation sehr verschiedener Aspekte möglich. Im vorliegenden Projekt wurde dies für die Kombination der technologischen Eignung zur Methangärung, ökologische und ökonomische Aspekte erfolgreich demonstriert.

Die Bewertung von Energiepflanzen nach ökologischen Gesichtspunkten mündete in der Erstellung einer Ökobilanz mit Schwerpunkt auf der Produktion der Pflanzen (bis „Feldrand“). Sie kann damit als Basis für weiterführende Berechnungen der gesamten Biogas-Wertschöpfungskette verwendet werden. Ergänzend wurden auch die wirtschaftlichen Aspekte der Energiepflanzenproduktion betrachtet.

Das Akzeptanztool ist in der Lage, schlüssige Ergebnisse für die Akzeptanz von Biogasanlagen mit Energiepflanzeneinspeisung zu geben. Das Tool ist online verfügbar und kann dezentral verwendet werden. Es kann Anlagenbetreiber, Anrainer, Anrainerinnen und Förderer in ihrer Entscheidungsfindung unterstützen. Es kann dazu verwendet werden, die Kommunikation am Ort zu fördern, Information weiterzugeben, auf die Wünsche der Kunden einzugehen – und damit die Akzeptanz zu heben. Das Akzeptanztool ist dokumentiert und erläutert, es wird begleitet von einem Arbeitshandbuch und Leitlinien und kann darum eigenständig betrieben werden. Gleichwohl wird eine professionelle Hilfe angeboten, die es ermöglicht, das Instrument maximal auszuschöpfen.

10.2. Wie arbeitet das Projektteam mit den gewonnenen Ergebnissen weiter?

Das Hauptergebnis ist eine Datenbasis zur Verfügbarkeit, Eignung und Akzeptanz von Energiepflanzen für die Biogasproduktion. Die eingerichtete Homepage bietet dem Anwender interaktiv die Möglichkeit, eigene Projekte anzulegen und so individuelle Ergebnisse zu bekommen.

Das Tool steht der Allgemeinheit zur Anwendung zur Verfügung. Das Projektteam wird es entsprechend bewerben und verstärkt für Analysen einsetzen. Anfragen aus Österreich und Deutschland

zeugen schon jetzt von großem Interesse unter Biogas-Interessierten. Die Partner des Projektteams werden als Berater angefragt und leisten Unterstützung bei der Anwendung und Nutzung des Tools. PROFACTOR steht als Ansprechpartner für das Gesamtprojekt zur Verfügung und organisiert die Weiterleitung von Interessenten an die entsprechenden Projektpartner. Dabei ist das Institut für angewandte Mikrobiologie weiterhin für technologische Aspekte der Biogaserzeugung zuständig.

STUDIA wird weiterhin für die wissenschaftliche Begleitung der Biogasakzeptanzanalyse bereit stehen. Dabei hat STUDIA weniger Interesse an der fachlichen Beratung als vielmehr an der Auswertung und der Aufbereitung von Befragungen, das heißt auch an der wissenschaftlichen Unterstützung der Beratungs- und Kommunalentwicklungsfunktionen an einem Ort und für ein Biogasprojekt. Hier ist STUDIA an einer Teamarbeit interessiert, in der es die Rolle eines Partners oder Zulieferers und wissenschaftlichen Beraters einnimmt.

Die Stadtgut GmbH wird als Finanzierungspartner zu einer Weiterverbreitung der Projektergebnisse beitragen.

Das Tool Verfügbarkeit von Energiepflanzen zur Biogasproduktion ist so aufgebaut, dass es auch für andere Potenzialabschätzungen (z.B.: Kurzumtriebswald, verfügbare Strohmenigen in den einzelnen KPGs,...) im landwirtschaftlichen Bereich heran gezogen werden kann. Damit besteht die Möglichkeit, die Systematik auf weitere Anwendungsfälle auszudehnen.

Sofern vom BMLFUW aktuelle Daten zur Verfügung gestellt werden, kann das Tool Verfügbarkeit problemlos aktualisiert werden bzw. zeitliche Entwicklungen dargestellt werden.

Veränderungen im regionalen Tierbestand und deren Einfluss auf die verfügbaren Potenziale können dargestellt werden, wenn die erforderlichen Daten zur Verfügung stehen.

10.3. Für welche Zielgruppen sind die Projektergebnisse relevant und interessant?

Neben einer horizontalen Entwicklungslinie (mehr vom gleichen, siehe Kapitel 1.5. Zielgruppen und Umsetzungs- / Verbreitungspotenziale) kann man sich auch eine vertikale Entwicklungslinie vorstellen (neue Gebiete). Auch diese Entwicklungslinie setzt eine interdisziplinäre Zusammenarbeit mehrerer Partner, optimalerweise aus dem bisherigen Projektteam, voraus. Dazu zählen etwa vergleichende Analysen, oder aber auch Adaptierungen des Analysetools auf weitere Anwendungsfelder, die durch technologische Entwicklungen und das Konzept der lokal verfügbaren erneuerbaren Rohstoffe geprägt sind, wie etwa: Biogas-Tankstellen, Biomasse-Anlagen, Pyrolyse-Anwendungen. Die im Tool Verfügbarkeit dargestellten Daten sind nicht nur für den Biogassektor von Interesse, sondern für alle Akteure im Bereich NAWAROS.

Als zukünftige Zielgruppen sind insbesondere anzusehen:

- Landwirte, Landwirtinnen, als Betreiber und Zulieferer von Biogasanlagen
- Energieberater, Kommunalberater, Regionalentwickler/-manager
- Industrieanlagenbauer, die an kleinräumigen und akzeptierten Demonstrationsprojekten interessiert sind.
- Energieversorgungsunternehmen inklusive der Gaswirtschaft (Einspeisung von Biogas in das Erdgasnetz)

11. Ausblick / Empfehlungen

11.1. Chancen / Schwierigkeiten / Risiken bei der Umsetzung Richtung Demonstrationsprojekt

Das entwickelte Tool samt seiner umfangreichen Datenbasis kann unmittelbar in ein Demonstrationsprojekt umgesetzt werden, indem es bei der Neu-Planung einer Biogasanlage von vornherein eingesetzt wird. Aufgrund der derzeitigen rechtlichen Situation bzgl. dem Ökostromgesetz ist der Zeitpunkt für eine derartige Anwendung jedoch nicht abzuschätzen.

Für den Einsatz an einer in Bau befindlichen Anlage wurde das Werkzeug bereits im Projekt getestet (siehe Kapitel 8 „Pilotanwendung des Tools“). Nach der Veröffentlichung des Endberichts wird verstärkt auf Öffentlichkeitsarbeit zur Verbreitung des Tools gesetzt und wir erwarten uns daraus auch zahlreiche weitere Anwendungen, die als Demonstrationsprojekte angesehen werden können.

Eine besondere Chance sehen wir in der Standardisierung, die das Akzeptanz-Tool auch durch seine Internetverfügbarkeit erfahren hat. Durch die Präsenz auf der Website und die Umgebungsservices wie Arbeitshandbuch, Interpretationshilfen, Fragebögen, kann das Tool im deutschsprachigen Raum gut verbreitet werden. Eine große Chance sehen wir auch in dem Trend zur Unabhängigkeit von fossilen Rohstoffen, der dem Rohstoff Energiepflanze und dem Prozess Biogaserzeugung neue Märkte öffnet, die auch lokal bedient werden wollen und damit auf eine regionale Biogasakzeptanzanalyse zugreifen können.

Eine Schwierigkeit wird sein, die Seite entsprechend zu bewerben, nicht nur mit einem wissenschaftlichen Zugang, sondern auch für die Zielgruppen, die in Kapitel 10.3 genannt sind. Um diese Schwierigkeit zu bewältigen, wird es erforderlich sein, mit entsprechenden Multiplikatoren in Kontakt zu kommen.

11.2. Empfehlungen für den weiterführenden Forschungsbedarf

11.2.1. Neuzüchtung von Energiepflanzen

Im Rahmen des Projekts wurde weiterer Forschungsbedarf im Bereich der Eignung von Energiepflanzen geortet. Dieser Forschungsbedarf basiert auf einer kurzen nachfolgend beschriebenen Analyse des Projektpartners IAM.

Besonders wichtige Eigenschaften von Energiepflanzen in Hinblick auf die Nutzung zur Nutzung in Biogasreaktoren sind:

- Stresstabilität und Anpassungsfähigkeit
- sehr hohes Niveau in der Körnerleistung
- exzellente Druscheignung, hohes TKG
- gute technologische Eignung für die Silageherstellung
- beste Standfestigkeit
- Anbaueignung auch für schwächere Böden
- geringer Energieeintrag beim Anbau und der Ernte

In der Tierernährung verwendete Qualitätskriterien, wie der Stärkegehalt oder die Energiekonzentration sind in der Biogasproduktion nicht von vergleichbarer Bedeutung. Ungleich wichtiger ist die Fähigkeit zur großen Biomasseproduktion. Vor allem die vorhandenen und bewährten Produktionstechniken

machen spätreife, langsam wachsende Maissorten zur meistverwendeten Energiepflanze. Die hohe Ertragskraft und die Silierbarkeit von spätreifen und massenwüchsigen Silomaissorten – sowohl des Korns, als auch der Ganzpflanze – tragen ebenfalls wesentlich zur Beliebtheit bei. Die besten Resultate wurden mit Sorten erzielt, die den örtlichen Reifebereich um rund 40–50 Reifeeinheiten übersteigen. Der optimale Erntezeitpunkt liegt bei diesen Sorten bei 27–30 % TS der Gesamtpflanze. Niedrigere TS-Gehalte führen zu Problemen bei der Silage durch Sickersaftbildung. Untersuchungen des IFL (2005) ergaben die in Abbildung 56 dargestellten Ergebnisse.

Ertrag und TS-Gehalt 2005

Versuch 310; Mittel aus 7 Orte

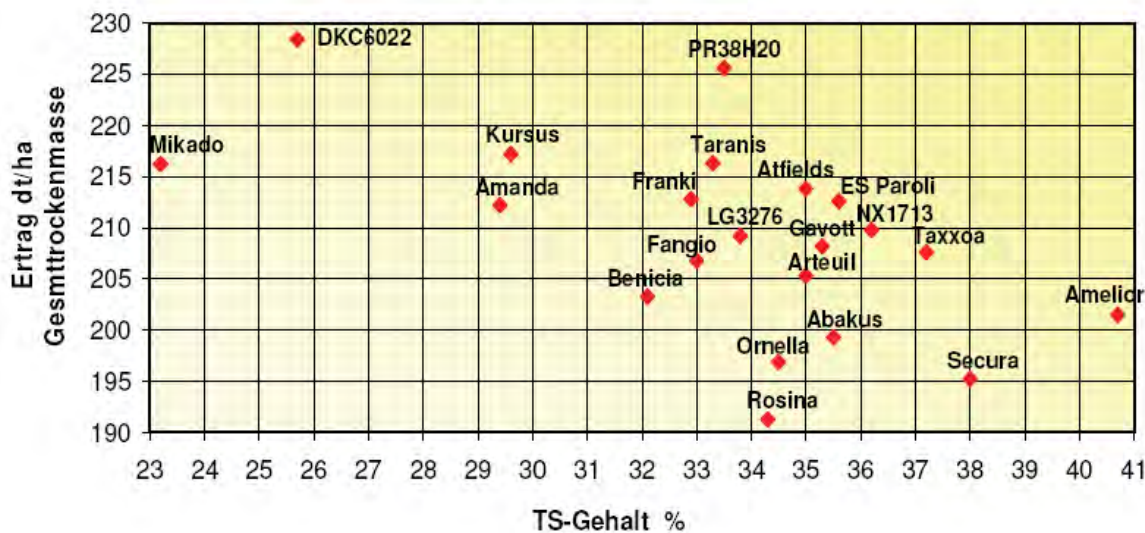


Abbildung 56: Sortenversuche des Instituts für Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung³⁰

Seit rund drei Jahren wird am Institut für Pflanzenzüchtung der Landesanstalt für Landwirtschaft in Freising (BRD), zusammen mit dem Institut für Agrartechnik, Hohenheim, und der KWS Saat AG, Einbeck, an der Entwicklung und Überprüfung von speziellen Biogas- Mais-Sorten und Winterzwischenfrüchten gearbeitet. Rein züchterisch betrachtet steht Mais vor großen Entwicklungsmöglichkeiten. Durch das Einkreuzen von Zuchtmaterial aus wärmeren und tropischen Regionen können spezielle Sorten geschaffen werden, die zwar nicht den Anforderungen der Fütterung entsprechen, dafür jedoch umso mehr Energie in die Biogasanlage bringen. Nach Meinung der Züchter führen Kombination aus Sorten mit hohem Masseanteil und deutschen Sorten, die die weltweit höchste Kältetoleranz aufweisen, zu Trockenmassenzuwächsen von bis zu 100 % gegenüber dem heutigen Niveau.

In Anbauversuchen aus den Jahren 2002 und 2003 wurden zwölf verschiedene Sorten hinsichtlich ihrer Erträge bei verschiedenen Standweiten, ihrer Inhaltsstoffe und Gasausbeute untersucht. Zusätzlich wurde das Ertragsverhalten bei einer späteren Saat (Ernte der Winterzwischenfrucht) und bei vier verschiedenen Ernteterminen untersucht. Die Sorten zeichneten sich durch extreme Spätreife mit FAO Zahlen von über 400 bis 900 aus. Als Vergleich diente die deutsche Sorte Gavott mit einer gängigen Reifezahl von 250. Am Standort Bersenbrück wurden im Mittel über alle Sorten und Standweiten auf Grund der günstigen Wetterverhältnisse im Jahr 2002 um 20 dt (8,5 %) mehr Trockenmasse (TM) pro ha geerntet. Der mittlere TM-Ertrag über alle Sorten und Standweiten im Jahr 2002 lag bei 235,87 dt/ha. Hybride 13 und Mikado erzielten die höchsten Erträge mit über 250 dt/ha. Innerhalb der verschiedenen Herkünfte und Reifegruppen lieferten die italienischen Hybriden die höchsten TM-

³⁰ http://www.ifl.bayern.de/ipz/mais/05318/V310_05.pdf

Erträge bei einem TS-Gehalt von unter 30 %. Die späte Abreife dieser Genotypen bedingt bei günstigen Temperaturen einen weiteren Massezuwachs im Herbst, der bei früher abreifenden Sorten wie beispielsweise Gavott nicht gegeben ist. Auch die Kreuzungen aus italienischem und deutschem Material konnten ähnlich hohe Erträge bei niedrigem TS-Gehalt erzielen.

2002 wurden die höchsten Erträge bei Standweiten von zehn Pflanzen/m² erzielt (Abbildung 57).³¹

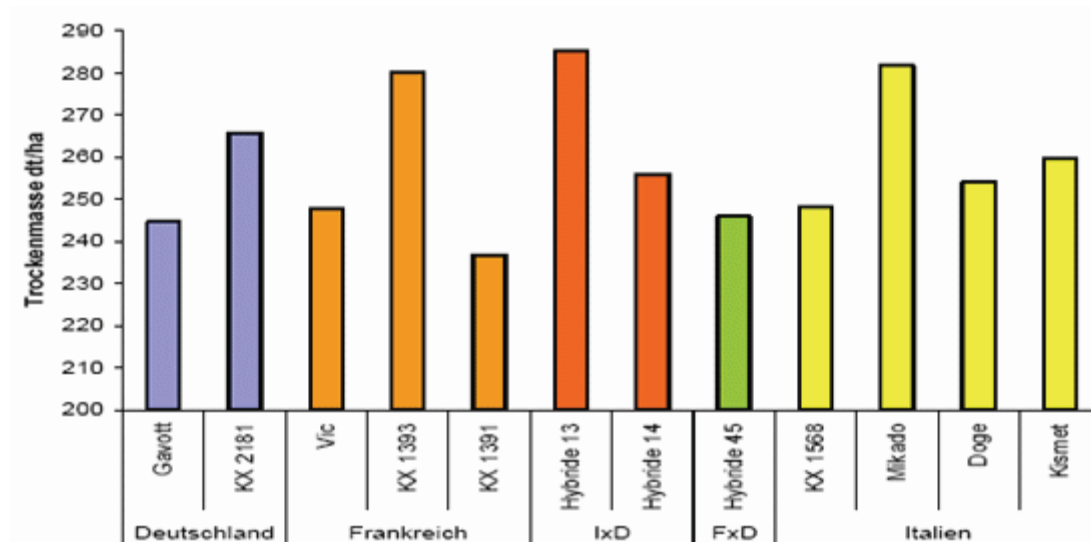


Abbildung 57: Ertragsunterschiede der Silomaisgenotypen bei 10 Pfl./m² (Bersenbrück 2002)

Dies zeigt, dass in der Verbesserung der Sorten alleine bei einer Kulturpflanze wie Mais deutliche Entwicklungspotenziale stecken.

Dem gegenüber steht die gentechnische Verbesserung der Gehalte von bestimmten Pflanzeninhaltsstoffen. Dies wird kaum beschrieben und ist derzeit aufgrund der mangelnden Akzeptanz in Österreich praktisch bedeutungslos. Von wesentlich größerer praktischer Bedeutung könnte die Untersuchung so genannter „Under-utilized Crops“ bringen. Dabei handelt es sich um alte Kulturpflanzen, die aufgrund des höheren Automatisierungsgrades in der derzeitigen landwirtschaftlichen Praxis beinahe vollständig verschwunden sind. Diese Pflanzen haben den Vorteil, in der jeweiligen Region heimisch und an die bestehenden Witterungsbedingungen optimal angepasst zu sein. Der Vorteil dieser Pflanzen könnte vor allem in der geringen Energieaufwendung bei der Aussaat und Ernte und dem Ertrag an kargen Standorten liegen.

11.2.2. Weiterentwicklung des Akzeptanz-Tools

Eine erste Empfehlung und Schlussfolgerung lautet, das Tool weiterhin online zur Verfügung zu stellen. So können weitere Anwender in den Genuss der Studienergebnisse gelangen und diese auf ihr individuelles Projekt anwenden und umlegen. Die lokale Akzeptanz von Biogasanlagen und Energiepflanzen wird unterstützt und die Systeme können so verbreitet werden.

Das Akzeptanztool wurde an zwei Gruppen getestet: eine Gruppe von (überwiegend) Landwirten und ein realer Anwendungsfall einer im Bau befindlichen Anlage im Innviertel. Mit ihnen wurde der Beginn einer Datenbank geschaffen. Wir empfehlen, diese Gruppen als erste „Benchmarks“ zu verwenden, das heißt als (vorläufig) vorbildhafte Ergebnisse: Künftige Anwendungen orientieren sich an den Musterergebnissen dieser beiden Tests, und sie lassen die Datenbank wachsen und werden ihrerseits

³¹ <http://www.ris-naro.net/index.php?idart=436&lang=1&parent=12&idcat=20>

möglicherweise zu Benchmarks. Das Akzeptanztool und die dahinter liegende Datenbank sollen also weiter beworben, gepflegt und betreut werden, bis schließlich eine Menge von Anlagen bewertet wurde, die ein echtes Benchmarking ermöglicht.

Drittens sollten die Anwendungsbereiche ausgeweitet werden. Das Tool analysiert die Akzeptanz von Energiepflanzen und Biogasanlagen und ihrer Funktion als Strom- und Wärmelieferant. Möglich wäre es nun aber auch, andere, neuere Anwendungen zu erkunden, wie etwa Biogaseinspeisungen ins Erdgasnetz oder Biogastankstellen. Biogene Rohstoffe könnten mit einer Adaptierung des Akzeptanztools untersucht werden, wie Biomassekraftwerke. Damit würden die Funktionen des Akzeptanztools ausgeweitet werden, es vielfältiger eingesetzt werden können, mehr Verbreitung finden und neuen Modellsystemen und lokalen Anwendungen einen wertvollen Dienst erweisen.

Viertens könnte mit dieser Auswertung die Technologiepolitik unterstützt werden. Die Datenbank kann analytisch auf Zusammenhänge geprüft werden. Daraus ließen sich Hemmfaktoren und Erfolgsfaktoren für Einführungs- und Umsetzungsprozesse ermitteln.

Fünftens wäre ein Transfer in andere europäische Regionen anzustreben.

12. Literaturverzeichnis

- Abdel-Hadi, M., 2003: Methangewinnung aus Nahrungsmittelabfällen und Betarüben durch Kofermentation .
Forschungsbericht Agrartechnik des Arbeitskreises Forschung und der Max-Eyth-Gesellschaft Agrartechnik
im VDI (VDI-MEG) ; 403 Stuttgart [70]
- Abreu, J. M.. and A. M. Bruno-Soares (1998): "Chemical composition, organic matter digestibility and gas produc-
tion of nine legume grains." *Animal Feed Science and Technology* 70(1-2): 49-57
- Abreu, J. M., A. M. Bruno-Soares, et al. (2000): Intake and nutritive value of Mediterranean forages & diets. 20
years of experimental data. Lisboa, Instituto Superior de Agronomia [30]
- ACKERMANN, I. et al.: Spezielle Betriebszweige in der Tierhaltung. Kuratorium für Technik und Bauwesen in der
Landwirtschaft (Hrsg.), KTBL-Schriften-Vertrieb im Landwirtschaftsverlag GmbH, Münster-Hiltrup, 1993
- AGRARMARKT AUSTRIA: Ertragserhebungen Getreide und Ölsaaten, 20. November 2003, www.ama.at.
- Ahrens, T. und P. Weiland (2003): Biogasqualität bei Vergärung nachwachsender Rohstoffe. In *Proceedings of
the Gülzower Fachgespräche: Workshop Aufbereitung von Biogas*, FAL Braunschweig, Gülzower Fachge-
spräche. Band 21. FNR (Fachagentur nachwachsende Rohstoffe e.V.).
- Ahrens, T. und P. Weiland (2003): "Biogasverwertung mit Brennstoffzellen - Anforderungen, Möglichkeiten und
Grenzen." *VDI Berichte(1751)*: 231-242.
- AMA, 2004a: Bekanntgabe der repräsentativen Erträge 2004 für Energiepflanzen und für bestimmte Produkte, die
als nachwachsende Rohstoffe auf stillgelegten Flächen angebaut werden, ausgegeben am 23. September
2004, www.ama.at.
- AMA, 2004b: Marktbericht September 2004 Getreide und Ölsaaten, ausgegeben am 06. Oktober 2004,
www.ama.at.
- Amid, A. (2004): Biogaserzeugung aus Mais. Universität für Bodenkultur. Diplomarbeit [68]
- Amon, T., Döhler, H. (2004): Qualität und Verwertung des Gärrestes. Handreichung Biogasgewinnung- und
Nutzung. FNR. Gülzow, Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V.
- Amon, T., V. Kryvoruchko, et al. (2003): Optimierung der Biogaserzeugung aus den Energiepflanzen Mais und
Klee gras. Vienna, Universität für Bodenkultur, Institut für Land-, Umwelt- und Energietechnik.
- Angelidaki, I. et al., (1990): "Effects of lipids on thermophilic anaerobic digestion and reduction of lipid inhibition
upon addition of bentamite". *Appl. Microbil. Biotechnol.* 33: 469-472.
- Angelidaki, I., L. Ellegaard, et al. (1998): "A Comprehensive Model of Anaerobic Bioconversion of Complex
Substrate to Biogas." *Biotechnol. Bioeng.* 63(3): 363-372.
- BAADER, W.: Feuchte Biomasse als Ausgangsstoff für Biogas. In: *Energie aus nachwachsenden Rohstoffen und
organischen Reststoffen*. VDI-Verlag GmbH, Düsseldorf, 1990
- Bader, S. (1997): Möglichkeiten zur Steuerung des Gärungsverlaufes bei der Grünfuttersilierung durch kombinier-
te Anwendung biologischer und chemischer Zusätze. Braunschweig, Bundesforschungsanstalt f. Landwirt-
schaft Braunschweig-Völkenrode.
- Bardossy, A., I. Bogardi, et al. (1985): Composite programming as an extension of compromise programming.
Mathematics of Multiple Objective Optimization. P. Serafini. Wien, Springer: 375-408.
- Bardossy, A. and L. Duckstein (1992): "Analysis of a karstic aquifer management problem by fuzzy composite
programming." *Water Resources Bulletin* 28(1): 63-73.
- Bardossy, A., L. Duckstein, et al. (1993): "Combination of fuzzy numbers representing expert opinions." *Fuzzy
Sets and Systems* 57(2): 173-181.
- Baron, V. S., E. Okine, et al. (2000): Optimizing Yield and Quality of Cereal Silage, University of Alberta. 2005.
<http://www.wcds.afns.ualberta.ca/Proceedings/2000/Chapter30.htm> [12]
- Baserga, U. (1998): Landwirtschaftliche Co-Vergärungsbiogasanlagen: Biogas aus organischen Reststoffen und
Energiegras. FAT-Berichte Nr. 512. Eidgenössische Forschungsanstalt für Agrarwirtschaft und Landtechnik,
Tänikon
- Baserga, U. (2000): Vergärung organischer Reststoffe in landwirtschaftlichen Biogasanlagen. Stoffdaten, Gär-
technik und gesetzliche Grundlagen, FAT-Berichte 546. Eidgenössische Forschungsanstalt für Agrarwirt-
schaft und Landtechnik, Tänikon
- Batstone, D.J., Keller, J., Angelidaki, I., et al., (2002): The IWA Anaerobic Digestion Model No 1 (ADM1), JWQ
Scientific and Technical Report No.13. London. JWA Publishing
- BAUMER, K.: Allgemeiner Pflanzenbau. 3., überarbeitete und erweiterte Auflage. Ulmer-Verlag, Stuttgart, 1992

- BERENDONK, C.: Ackerfutterbau mit Gräsern und Klee. In: www.riswick.de, 2003
- BERENDONK, C.: Empfehlungen für den Feldfutter- und Zwischenfruchtanbau sowie für die Brachebegrünung 2004. Landwirtschaftskammer Nordrhein-Westfalen, D-47533 Kleve. In: www.riswick.de, 2004
- Bergen, W. G., T. M. Byrem, et al. (1991): "Ensiling characteristics of whole-crop small grains harvested at milk and dough stages." J. Anim Sci. 69(4): 1766-1774. [69]
- Biogasanlagen in der Landwirtschaft, 1453/2003
- Block und Mitterleitner, 2005: Direkteinspeisung von Feststoffen. in VDI Berichte 1872, 2005
- BMLFUW, (2001): Der sachgerechte Einsatz von Biogasgülle und Gärrückständen im Acker und Grünland, Hrsg.: Fachbeirat für Bodenfruchtbarkeit und Bodenschutz, Wien, Österreich
- Bohle, M., P. Ballerstadt, et al. (2003): Winter Cereal Forage Varieties for Central Oregon, Oregon Agricultural Research Center. 2004. <http://eesc.orst.edu/agcomwebfile/edmat/html/SR/SR1046/77.htm> [42]
- Böhme, G. (1993): Fuzzy-Logik: Einführung in die algebraischen und logischen Grundlagen. Berlin [u.a.], Springer Verl.
- Boone, D. M., Robert (1987): Transitional bacteria. Anaerobic digestion of biomass. David P. Chynoweth, Isaacson, Ron. London [u.a.], Elsevier Applied Science.
- Boyle, W.C. (1977): Energy Recovery from Sanitary Landfills - A Review. In: Microbial Energy Conversion. Schlegel, H. G. and J. Barnea (Ed.). Pergamon Press, Frankfurt
- Braun, R. (1982): Biogas - Methangärung organischer Abfallstoffe, Grundlagen und Anwendungsbeispiele. Wien, Springer
- Brändle J., (2006): Fuzzy Composite Programming zur Bewertung von Energiepflanzen für die Biogaserzeugung. Universität für Bodenkultur Wien, Diplomarbeit. In Ausarbeitung
- BRENNDÖRFER, M. et al.: Energetische Nutzung von Biomasse. KTBL-Schriften-Vertrieb im Landwirtschaftsverlag GmbH, Münster, 1994
- Brentrop F., u.a.: Application of the Life Cycle Assessment methodology to agricultural production: an example of sugar beet production with different forms of nitrogen fertilizers; European Journal of Agronomy; 14 / 2001, S 227
- Bruno-Soares, A. M., I. Murray, et al. (1998): "Use of near infrared reflectance spectroscopy (NIRS) for the prediction of the chemical composition and nutritional attributes of green crop cereals." Animal Feed Science and Technology 75(1): 15-25.
- BUCHGRABER, K.: Ressource Grünland im Alpenraum – brauchen wir alternative Nutzungsverfahren? In: Bericht „Zukunft der industriellen Nutzung nachwachsender Rohstoffe“ TU Graz, Institut für Ressourcenschonende und nachhaltige Systeme. Seggau, 06.11.2003, 1-8.
- BUCHGRABER, K. und PFLÜGER G. (2002): Berechnung von Futtermittelbilanzen im Rahmen der Erstellung der Landwirtschaftlichen Gesamtrechnung. Abschlussbericht TAPAS-AKTION, 83 S., BAL Gumpenstein, 2002.
- BUNDESANSTALT FÜR AGRARWIRTSCHAFT (AWI): Grüner Bericht 2002: Futter-, Energie- und Rohproteinerträge im Grünland. In: www.awi.bmlfuw.gv.at/gb/
- BUNDESMINISTERIUM FÜR LAND- UND FORSTWIRTSCHAFT, UMWELT UND WASSERWIRTSCHAFT: Aktionsprogramm 2003 – Verordnung des Bundesministers für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft über das Aktionsprogramm 2003 zum Schutz der Gewässer vor Verunreinigung durch Nitrat aus landwirtschaftlichen Quellen - CELEX Nr. 391L0676, http://gpool.lfrz.at/gpoolexport/media/file/AP_Nitrat_mit_Originalunterschrift_HBM2.pdf
- BUNDESMINISTERIUM FÜR LAND- UND FORSTWIRTSCHAFT, UMWELT UND WASSERWIRTSCHAFT, 2003: Grüner Bericht 2002
- BUNDESMINISTERIUM FÜR LAND- UND FORSTWIRTSCHAFT, UMWELT UND WASSERWIRTSCHAFT, 2004: Grüner Bericht 2004, Bericht über die Lage der österreichischen Land- und Forstwirtschaft im Jahr 2003
- BUNDESMINISTERIUM FÜR LAND- UND FORSTWIRTSCHAFT, UMWELT UND WASSERWIRTSCHAFT 2002: „Standarddeckungsbeiträge und Daten für die Betriebsberatung 2002/03“; Wien
- Buswell, A. M. (1952): "Mechanism of methane fermentation." Industrial and engineering chemistry 44(3): 550-552.
- Chase, L. E. (1998): Alternative Forages for Dairy Cattle, Cornell University, Department of Animal Sciences, Extension Service. 2004. <http://www.css.cornell.edu/forage/comment/chase2.html> [37]

- Chen, C.-T. (2000): "Extensions of the TOPSIS for group decision-making under fuzzy environment." *Fuzzy Sets and Systems* 114(1): 1-9.
- Chen, H.-K., W.-K. Hsu, et al. (1997): "A comparison of vertex method with JHE method." *Fuzzy Sets and Systems* 86(2): 155-168.
- Chen, S.-J. H. C.-L. (1992): *Fuzzy Multiple Attribute Decision Making*. Berlin, Springer
- Chen, Y. R. S. V. J. (1987): *Kinetics and Modeling. Anaerobic digestion of biomass*. David P. Chynoweth, Isaacson, Ron. London [u.a.], Elsevier Applied Science.
- Coblentz, W. K., K. Cassida, et al. (2004): *Using Cereal Grain Forages and Mixtures With Annual Ryegrass for Grazing*, University of Arkansas, Division of Agriculture, Cooperative Extension Service. 2004. http://www.uaex.edu/Other_Areas/publications/HTML/FSA-3064.asp [46]
- Cowell S.J.: *Environmental Life Cycle Assessment of Agricultural Systems: Integration Into Decision-Making*, Surrey; 1998
- DANNEBERG, H. et al.: *Richtlinien für die sachgerechte Düngung*. Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Geschäftsstelle: Bundesamt und Forschungszentrum für Landwirtschaft, Institut für Bodenwirtschaft. Wien, 1999
- Darmosarkoro, W., M. M. Harbur, et al. (2001): "Growth, Development, and Yield of Soybean Lines Developed for Forage." *Agron J* 93(5): 1028-1034.
- Diepenbrock, W., G. Fischbeck et al., (1999): *Spezieller Pflanzenbau*. Ulmer, Stuttgart. 3., neubearb. Auflage
- DINSE, G., 2003: *Akzeptanz von wasserstoffbetriebenen Fahrzeugen – eine Studie über die Verwendung eines neuen und ungewohnten Kraftstoffes*, Institut für Mobilitätsforschung (IFMO), Berlin, 4. Aufl. 2003
- DLG (1997): *DLG-Futterwerttabellen – Wiederkäuer*. Frankfurt (Main), Universität Hohenheim Dokumentationsstelle, Ed. DLG-Verl. 7., erw. und überarb. Aufl [21]
- Dong, W. and H. C. Shah (1987): "Vertex method for computing functions of fuzzy variables." *Fuzzy Sets and Systems* 24(1): 65-78.
- Dubois, D. and H. Prade (1983): "RANKING FUZZY NUMBERS IN THE SETTING OF POSSIBILITY THEORY." *Information Sciences* 30(3): 183-224.
- Edelmann, W. (2001): *Biogaserzeugung- und Nutzung. Energie aus Biomasse. Grundlagen, Techniken und Verfahren*. Martin Kaltschmitt and Hans Hartmann. Berlin, Springer.
- Edelmann W., 2003: *Umweltaspekte der Verwertung von biogenen Abfällen in Vergärungsanlagen*, Tagungsband Symposium „Vergärung biogener Abfälle“, 22.-23. Mai 2003, IFA Tulln, Tulln, Österreich
- El-Swaify, S. A. and D. S. Yakowitz, Eds. (1998): *Multiple objective decision making for land, water, and environmental management. First International Conference on Multiple Objective Decision Support Systems (MODSS) for Land, Water, and Environmental Management: Concepts, Approaches, and Applications*. Honolulu, Hawaii, Lewis Publ
- Energy research Centre of the Netherlands Phyllis, database for biomass and waste, Energy research Centre of the Netherlands. 2005. <http://www.ecn.nl/phyllis> [53]
- European Grassland Federation (1991): *Forage conservation towards 2000*. In *Proceedings of the Conference on Forage Conservation Towards 2000*, Braunschweig, Landbauforschung Völknerode. Sonderheft 123.
- FACHAGENTUR NACHWACHSENDE ROHSTOFFE: *Handreichung Biogasgewinnung und –nutzung: Beschreibung ausgewählter Substrate*. Gülzow, 2004
- Ferguson, T. M., Robert (1987): *Methanogenic bacteria. Anaerobic digestion of biomass*. David P. Chynoweth, Isaacson, Ron. London [u.a.], Elsevier Applied Science.
- Filya, I. (2003): "Nutritive value of whole crop wheat silage harvested at three stages of maturity." *Animal Feed Science and Technology* 103(1-4): 85-95.
- Filya, I. (2004): "Nutritive value and aerobic stability of whole crop maize silage harvested at four stages of maturity." *Animal Feed Science and Technology* 116(1-2): 141-150.[8]
- FLAIG, H. et al.: *Biomasse – nachwachsende Energie: Potenziale - Technik - Kosten*. Expert-Verlag, Malsheim, 1998
- FNR, (2001): *Eigenschaften biogener Festbrennstoffe. Bestimmung, Beeinflussung, Standardisierung ; Tagung am 7./8. November 2000, BIZ Stuttgart*. Schriftenreihe "Nachwachsende Rohstoffe". Münster, Landwirtschaftsverlag [59]

- Fraser, M. D., R. Fychan, et al. (2005): "Comparative yield and chemical composition of two varieties of narrow-leaved lupin (*Lupinus angustifolius*) when harvested as whole-crop, moist grain and dry grain." *Animal Feed Science and Technology* 120(1-2): 43-50.[4]
- Fraser, M. D., R. Fychan, et al. (2005): "The effect of harvest date and inoculation on the yield and fermentation characteristics of two varieties of white lupin (*Lupinus albus*) when ensiled as a whole-crop." *Animal Feed Science and Technology* 119(3-4): 307-322. [5]
- Garcia, A. (2002): *Alternative Forages for Dairy Cattle: Soybeans and Sunflowers*, COLLEGE OF AGRICULTURE & BIOLOGICAL SCIENCES / SOUTH DAKOTA STATE UNIVERSITY / USDA; Cooperation Extension Service. 2005. <http://agbiopubs.sdstate.edu/articles/ExEx4023.pdf> [2]
- Genon, G. and M. Marino (2001): "Composting and anaerobic treatment carbon and energy balances." 9th World Congress 'Anaerobic Digestion 2001', Antwerp, 2-6th September 2: 413-415.
- Grasmug M. und Braun R., 2002: Vergärung biogener Abfälle aus Wien – Untersuchung zur Vergärbarkeit und Verwertbarkeit von Speiseresten und Marktabfällen, Studie im Auftrag der MA 22 und MA 48, Wien, Österreich
- Greef, J. M., Ed. (1996): *Etablierung und Biomassebildung von Miscanthus x giganteus*. Göttingen, Cuvillier [62]
- Grundmann, P., M. Plöchl, et al. (2002): *Wirtschaftlichkeitsuntersuchungen zum Einsatz landwirtschaftlicher Kosubstrate zur Biogasanlagen*. In *Proceedings of the Biogas und Energielandwirtschaft – Potenzial, Nutzung, Grünes GasTM, Ökologie und Ökonomie.*, Potsdam, Bornimer Agrartechnische Berichte. 32.
- GEIER, U.: „Anwendung der Ökobilanz-Methode in der Landwirtschaft“; Köster Verlag; Berlin; 2000
- GEISLER, G.: *Pflanzenbau. Ein Lehrbuch – Biologische Grundlagen und Technik der Pflanzenproduktion*, 2. Auflage. Parey-Verlag, Hamburg, 1988
- GEMIS 4.1; Öko-Institut Deutschland; Gesamthochschule Kassel; 2000
- GRUNDMANN, P., PLÖCHL, M., HEIERMANN, M. (2002): *Wirtschaftlichkeitsuntersuchungen zum Einsatz landwirtschaftlicher Kosubstrate in Biogasanlagen*. In: *Bornimer Agrartechnische Berichte Vol. 32*, Institut für Agrartechnik Bornim, Potsdam.
- Gujer, W. and A. Zehnder (1983): "Conversion processes in anaerobic digestion." *Water Sci Technol* 15: 127-167.
- Hansen, K. H., I. Angelidaki, et al. (1998): "Anaerobic digestion of swine manure: Inhibition by ammonia." *Water Research* 32(1): 5-12.
- Harder, KTBL e. V., Ed. (2005): In: *Die Landwirtschaft als Energieerzeuger : wo liegen die Chancen für Biogas, Biokraftstoff, Biobrennstoff und Fotovoltaik*; KTBL-Vortragstagung vom 30. bis 31. März 2004 in Osnabrück. Münster-Hiltrup, KTBL-Schriften-Vertrieb im Landwirtschaftsverlag. 2., überarb. Aufl
- Härdtlein, M., L. Eltrop, et al., Eds. (2004): *In Voraussetzung zur Standardisierung biogener Festbrennstoffe*. Schriftenreihe *Nachwachsende Rohstoffe*, Landwirtschaftsverlag
- Hartmann, H. (2001): *Brennstoffzusammensetzung und -eigenschaften*. In: *Energie aus Biomasse. Grundlagen, Techniken und Verfahren*. Martin Kaltschmitt und Hans Hartmann Hrsg). Berlin, Springer.
- Heiermann, M., M. Plöchl, et al. (2002): *Preliminary evaluation of some cereals as energy crops for biogas production*. In *Proceedings of the World Renewable Energy Congress VII*, Köln.
- Heiermann, M., H. Schelle, et al. (2002): *Biogaspotenziale pflanzlicher Kosubstrate*. In: *Tagungsband Biogas und Energielandwirtschaft - Potenzial, Nutzung, Grünes GasTM, Ökologie und Ökonomie.*, Potsdam, Bornimer Agrartechnische Berichte. 32.
- Helm, J. H. and D. F. Salmon (2002): *Cereal Silage Options for Western Canada*. In *Proceedings of the Western Canadian Dairy Seminar*, Red Deer. [40]
- Hobson, P. N. and A. D. Wheatley (1993): *Anaerobic digestion : modern theory and practice*. London [u.a.], Elsevier Applied Science
- Hoffmann, T. (1998). *Gestaltung von Technik und Verfahren für die Ernte und Konservierung von Getreide auf der Grundlage witterungsbedingter Kornfeuchten*. Berlin, Forschungsbericht Agrartechnik des Arbeitskreises *Forschung und Lehre der Max-Eyth-Gesellschaft Agrartechnik im VDI (VDI-MEG)*.
- HOLZ, W.: „Tanken, messen, vergleichen“; Landwirtschaftskammer Schleswig-Holstein; 2002
- Honig, H. and U. Küntzel (1993): *Futterkonservierung. Faustzahlen für Landwirtschaft und Gartenbau*. Joachim Quade and Hydro Agri Dülmen GmbH. Münster-Hiltrup, Landwirtschaftsverl.
- Hopfner-Sixt, K. (2005): *Analyse von Leistungsfähigkeit, Wirtschaftlichkeit und Entwicklungsperspektiven landwirtschaftlicher Biogasanlagen*. Universität fürBodenkultur, Wien. Dissertation

- HUBER, H.: Ganzpflanzensilage (GPS) – Problemlöser bei Silomais? *Praktische Landtechnik*, Heft 7-8/1985, 38. Jahrgang, 240 – 245.
- Hutjens, M. (2001): *Strategic Use of Non-Pasture Feedstuffs to Improve Cow Production and Reproduction*, IlliniDairyNet: The Online Resource for the Dairy Industry. University of Illinois, Animal Science. 2005. <http://www.trail.uiuc.edu/dairy/paperDisplay.cfm?ContentID=609> [41]
- Iqbal, A., I. A. Khalil, et al. (2006): "Nutritional quality of important food legumes." *Food Chemistry* 97(2): 331-335.
- Institut für Energetik und Umwelt gGmbH (IE) (2005): *Evaluierung der Möglichkeiten zur Einspeisung von Biogas ins Erdgasnetz*. Endbericht zum Forschungsvorhaben im Auftrag der Fachagentur nachwachsende Rohstoffe e.V. Gülzow, Leipzig
- ISO 14040: 1997a; Kapitel 3.9
- ISO 14040: 1997b; Einleitung; S 2
- ISO 14040: 1997c; Kapitel 5.1.1
- ISO 14040: 1997d; Kapitel 5.1.2
- Jacks-Sterrenberg, I. (1995): *Untersuchungen zur Ertragsphysiologie von Miscanthus sinensis Anderss. hinsichtlich einer Verwendung als Energiepflanze*. Universität Gießen. Dissertation
- Jarvis, Å., et al., (1997): "Improvement of a grass-clover silage-fed biogas process by the addition of cobalt", *Biomass and Bioenergy*, Volume 12, Issue 6, 453-460.
- Jauschnegg Horst (2003): *Landwirtschaftliche Biogasanlagen in Österreich*. Wien, Österreichischer Biomasse-Verband.
- Jerger, D. E. T., George T. (1987): *Feed Composition. Anaerobic digestion of biomass*. David P. Chynoweth, Isaacson, Ron. London [u.a.], Elsevier Applied Science.
- Jeroch, H., W. Drochner, et al. (1999): *Ernährung landwirtschaftlicher Nutztiere. Ernährungsphysiologie, Futtermittelkunde, Fütterung*. Stuttgart, Ulmer
- Jeroch, H., G. Flachowsky, et al., Eds. (1993): *Futtermittelkunde*. Jena. Fischer [35]
- Jones, D. and E. M. Barnes (2000): "Fuzzy composite programming to combine remote sensing and crop models for decision support in precision crop management." *Agricultural Systems* 65(3): 137-158.
- Jones, M. B. and M. Walsh, Eds. (2001): *Miscanthus for energy and fibre*. London, James & James
- Jörg, R. (2001): *Testverfahren zur anaeroben biologischen Abbaubarkeit. Biologische Behandlung organischer Abfälle*. Peter; Weißenfels Kämpfer, Walter D. Berlin [u.a.], Springer.
- Juskiw, P. E., J. H. Helm, et al. (2000): "Competitive Ability in Mixtures of Small Grain Cereals" *Crop Sci* 40(1): 159-164.
- Juskiw, P. E., J. H. Helm, et al. (2000): "Forage Yield and Quality for Monocrops and Mixtures of Small Grain Cereals" *Crop Sci* 40(1): 138-147. [47]
- Juskiw, P. E., J. H. Helm, et al. (2000): "Postheading Biomass Distribution for Monocrops and Mixtures of Small Grain Cereals" *Crop Sci* 40(1): 148-158.
- KAISER, F. et al.: *Biogaserträge verschiedener nachwachsender Rohstoffe*. In: *Landtechnik*, 59. Jahrgang. Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft (Hrsg.), Landwirtschaftsverlag GmbH, Münster, 2004, 224f.
- Kaltschmitt, M. und H. Hartmann (2001): *Energie aus Biomasse. Grundlagen, Techniken und Verfahren*. Springer. Berlin, Heidelberg, New York, [49]
- Kansas State University and R. a. Extension (1997): *Sunflower Silage. Forage Facts Publication Series*, Kansas State University Agricultural Experiment Station and Cooperative Extension Service. 2004. <http://www.oznet.ksu.edu/forage/pubs/97notebook/fora31.pdf> [3]
- Kaufmann, A. G., Madan M. (1991): *Fuzzy mathematical models in engineering and management science*. Amsterdam,... North-Holland. 2. impr. ed
- Kellems, R. O. and D. C. Church (2002): *Livestock feeds and feeding*. Upper Saddle River, NJ, Prentice Hall. 5. ed. [15]
- Khan, F. I., R. Sadiq, et al. (2002): "GreenPro-I: a risk-based life cycle assessment and decision-making methodology for process plant design." *Environmental Modelling & Software* 17(8): 669-692.
- Khan, F. I., R. Sadiq, et al. (2002): "Risk-based process safety assessment and control measures design for offshore process facilities." *Journal of Hazardous Materials* 94(1): 1-36.

- Khorasani, G. R., E. K. Okine, et al. (1993): "Effect of Whole Crop Cereal Grain Silage Substituted for Alfalfa Silage on Performance of Lactating Dairy Cows." *J Dairy Sci* 76(11): 3536-3546.
- Kirchgessner, M. (1992): Tierernährung. DLG-Verlag, Frankfurt am Main. 8. Auflage
- KIRCHGEßNER, M.: Tierernährung: Leitfaden für Studium, Beratung und Praxis. 10., neubearbeitete Auflage. BLV Verlagsgesellschaft, München; Landwirtschaftsverlag, Münster-Hiltrup; Österreichischer Agrarverlag, Wien; Büchler Grafino AG, Wabern; DLG Verlag, Frankfurt, 1997
- Knabe, O., M. Fechner, et al. (1986): Verfahren der Silageproduktion. Inst.für Futterproduktion Paulinenaue d. Akad. d.Landwirtschaftswiss. d. DDR. Berlin, Deutscher Landwirtschaftsverlag. 1. Auflage
- Köhling, K. (2000): Sudangrassanbau zur Energiegewinnung in Biogasanlagen. Univ. für Bodenkultur. Dipl.- Arb.[55]
- Krieg und Fischer (2002): Grasvergärung aus Wissenschaftlicher Sicht.
<http://www.KriegFischer.de>
- Kroiss, H. (1986): Anaerobe Abwasserreinigung
- Kroiss, H. und K. Svoldal (2005): Einflussfaktoren auf die anaeroben biologischen Abbauvorgänge. In: Anaerob-technik. Bischofsberger et al. (Ed.), Berlin, Heidelberg. Springer
- KTBL (2005/2006): Betriebsplanung Landwirtschaft: Daten für die Betriebsplanung in der Landwirtschaft. Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e.V. Darmstadt. Münster-Hiltrup, KTBL-Schriften-Vertrieb im Landwirtschaftsverl.
- KTBL and M. Schwab, Eds. (2005): Gasausbeute in landwirtschaftlichen Biogasanlagen. Münster, KTBL-Schriften-Vertrieb im Landwirtschaftsverlag
- KUHN, E. et al.: Kofermentation. KTBL-Arbeitspapier 219, KTBL-Schriften-Vertrieb im Landwirtschaftsverlag GmbH, Münster-Hiltrup, 1995, S.66
- KUHN, W.; JODL, S.: Vom Ziergras zur Rohstoffpflanze – 10 Jahre Miscanthus-Forschung. Bayrisches Staatsministerium für Landwirtschaft und Forsten. In: www.baystmlf.de
- Kunst, S. (2005): Mikrobiologische Grundlagen. In: Anaerobtechnik. Bischofsberger et al. (Ed.), Berlin, Heidelberg. Springer
- KURATORIUM FÜR TECHNIK UND BAUWESEN IN DER LANDWIRTSCHAFT: Festmistaußenlagerung. Kurzfassung aus KTBL-Positionspapier 40026. In www.ktbl.de, 2000
- Lancaster, L. L., C. W. Hunt, et al. (1990): "Effects of rapeseed silage variety and dietary level on digestion and growth performance of beef steers." *J. Anim Sci.* 68(11): 3812-3820. [44]
- LANDWIRTSCHAFTSKAMMER WESER – EMS: Sortenwahl und Sortenempfehlung Wintertriticale. In: www.lwk-we.de, 2003
- Lardy, G. and V. Anderson (1999): Alternative Feeds for Ruminants, North Dakota State University Extension Service. 2005. <http://www.ext.nodak.edu/extpubs/ansci/livestoc/as1182-3.htm> [19]
- Lee, Y. W., I. Bogardi, et al. (2000): "Decision of water supply line under uncertainty." *Water Research* 34(13): 3371-3379.
- Lewandowski, I. and A. Heinz (2003): "Delayed harvest of miscanthus--influences on biomass quantity and quality and environmental impacts of energy production." *European Journal of Agronomy* 19(1): 45-63. [74]
- Lewandowski, I. and D. Kauter (2003): "The influence of nitrogen fertilizer on the yield and combustion quality of whole grain crops for solid fuel use." *Industrial Crops and Products* 17(2): 103-117. [71]
- Lewandowski, I. and A. Kicherer (1997): "Combustion quality of biomass: practical relevance and experiments to modify the biomass quality of Miscanthus x giganteus." *European Journal of Agronomy* 6(3-4): 163-177. [72]
- Lewandowski, I. and U. Schmidt (2006): "Nitrogen, energy and land use efficiencies of miscanthus, reed canary grass and triticale as determined by the boundary line approach." *Agriculture, Ecosystems & Environment* 112(4): 335-346. [73]
- LfL, B. L. f. L., Ed. (2005): Gruber Tabelle zur Fütterung der Milchkühe, Zuchtrinder, Mastrinder, Schafe und Ziegen, Institut für Tierernährung und Futterwirtschaft. 26. Auflage [27]
- LIEBHARD, P.: Pflanzenbau III. Vorlesungsunterlagen, Universität für Bodenkultur Wien, 1999
- Linke, B. (2004): Substrateinsatz bei der Trockenfermentation – Einschätzung des F+E-Bedarfs. In Gülzower Fachgespräche: Tagungsband der Veranstaltung am 4./5. Februar 2004 in Gülzow, Gülzow, Gülzower Fachgespräche. Band 23. FNR (Fachagentur nachwachsende Rohstoffe e.V.).

- Linke, B., M. Heiermann, et al. (2003): Grundlagen, Verfahren und Potenzial der Biogasgewinnung im Land Brandenburg. Biogas in der Landwirtschaft. M. Heiermann and M. Plöschl. Potsdam, Ministerium für Landwirtschaft, Umweltschutz und Raumordnung des Landes Brandenburg: 29-33.
- Mähnert, P., M. Heiermann, et al. (2002): "Verwertungs-alternativen für Grünlandbestände – Futtergräser als Kosubstrat für die Biomethanisierung. 5, 260-261." Landtechnik 5: 260-261.
- Mähnert, P., M. Heiermann, et al. (2002): Futtergräser als Kosubstrate für die Biomethanisierung. In: Tagungsband: In Proceedings of the Biogas und Energielandwirtschaft - Potenzial, Nutzung, Grünes Gas™, Ökologie und Ökonomie., Potsdam, Bornimer Agrartechnische Berichte. 32.
- Maier, J., R. Vetter, et al. (1998): Anbau von Energiepflanzen - Ganzpflanzengewinnung mit verschiedenen Beerntungsmethoden (ein- und mehrjährige Pflanzenarten); Schwachholzverwertung. Stuttgart, Ministerium Ländlicher Raum Baden-Württemberg, Institut für umweltgerechte Landbewirtschaftung (IfUL), Müllheim, Institut für Verfahrenstechnik und Dampfkesselwesen (IVD), Universität Stuttgart. [57]
- MAIRINGER, M.: mündliche Mitteilung, 2004
- Manitoba Agriculture Food and Rural Initiatives (2004): Ensiling Soybeans, Manitoba Agriculture, Food and Rural Initiatives. 2004. <http://www.gov.mb.ca/agriculture/news/topics/daa56d11.html> [11]
- Maurer M., und J.P. Winkler (1980): Biogas. Theoretische Grundlagen, Bau und Betrieb von Anlagen.
- MAZUR, G.H., 2003: Quality Function Deployment, Green Belt® Workshop materials v2004a. QFD Institute, Ann Arbor, USA
- McAllister, T. A. and A. N. Hristov (2000): The Fundamentals of Making Good Quality Silage, University of Alberta. 2005. <http://www.wcds.afns.ualberta.ca/Proceedings/2000/Chapter32.htm> [14]
- McDonald, P., N. Henderson, et al. (1991): The biochemistry of silage. Marlow, Bucks, Chalcombe Publications. 2. ed. [18]
- MEISTER, E.; MEDIAVILLA, V.; VETTER, R.; KONERMANN, M.: Prüfung des Anbaus und der Möglichkeiten einer Markteinführung von neuen Faserpflanzen (Hanf, Kenaf, Miscanthus). Grenzüberschreitendes Institut zur rentablen umweltgerechten Landbewirtschaftung ITADA (Hrsg.), F-68000 Colmar, 1999
- Merino, G. G., D. D. Jones, et al. (2003). "Fuzzy compromise programming with precedence order in the criteria." Applied Mathematics and Computation 134(1): 185-205.
- MINISTERIUM FÜR ERNÄHRUNG, LANDWIRTSCHAFT UND FORSTEN DES LANDES SACHSEN – ANHALT: Triticale. In: www.inaro.de
- Ministry of Agriculture, F. a. F., Standing Committee on Tables of Feed Composition (1992): Feed composition : UK tables of feed composition and nutritive value for ruminants. Kingston, Chalcombe. 2. ed. [31]
- MITTER, G., 2005; Maschinenring Kirchschatz; Mündliche Mitteilung
- Muck, R. E. (2002): "Effects of Corn Silage Inoculants on Aerobic Stability." 2002 ASAE Annual Meeting Paper number 021068. [16]
- Nachtnebel H.P., (1988): Wasserwirtschaftliche Planung bei Mehrfacher Zielsetzung. Wiener Mitteilungen Wasser- Abwasser- Gewässer, Band 78.
- Nachtnebel H.P., (2003): Studienblätter zur Vorlesung Wasserwirtschaftliche Planung. Wien, Universität für Bodenkultur.
- NRC (National Research Council, Subcommittee on Beef Cattle Nutrition) (2000). Nutrient requirements of beef cattle. Washington, D. C, National Acad. Press. 7., rev. ed., [32] [33] (feed library)
- NRC (National Research Council, Subcommittee on Feed Composition Nutrition, et al). (1982). United States-Canadian Tables of Feed Composition. Nutritional Data for United States and Canadian Feeds, Third Revision. Washington, D.C., National Academy Press. third revision [26]
- NRC (National Research Council, Committee on Animal Nutrition, Board on Agriculture and Natural Resources), Ed. (2001). In Nutrient requirements of dairy cattle. Washington, DC, National Acad. Press. 7., rev. ed. [28]
- Norman, A. C. and M. R. Murphy (2005): Feed Value And In Situ Dry Matter Digestibility Of Miscanthus X Giganteus And Corn Stover, IlliniDairyNet:The Online Resource for the Dairy Industry. University of Illinois, Animal Science. 2005. <http://www.trail.uiuc.edu/dairyNet/paperDisplay.cfm?ContentID=7752> [60]
- ÖAG, Ö. A. f. G. u. F. ÖAG-Futterwerttabelle für das Grundfutter im Alpenraum, Österr. Arbeitsgemeinschaft für Grünland und Futterbau (ÖAG). 2005. <http://www.oaag-gruenland.at/> [20]
- Oechsner, H., A. Lemmer, et al. (2003): "Feldfrüchte als Gärsubstrat in Biogasanlagen." Landtechnik 58(3): 146-147. [50]
- OEHMICHEN, J.: Pflanzenproduktion. Band 2: Produktionstechnik. Parey-Verlag, Hamburg, 1986

- Okine, E. K., G. R. Khorasani, et al. (1994): "Effects of Cereal Grain Silages Versus Alfalfa Silage on Chewing Activity and Reticular Motility in Early Lactation Cows." *J Dairy Sci* 77(5): 1315-1325.
- Otto, K. N., A. D. Lewis, et al. (1993): "Approximating [alpha]-cuts with the vertex method." *Fuzzy Sets and Systems* 55(1): 43-50.
- Oude Elferink, S. J. W. H., F. Driehuis, et al. (1999): Silage fermentation processes and their manipulation. In: *Silage Making in the Tropics with Particular Emphasis on Smallholders*. In Proceedings of the FAO Electronic Conference on Tropical Silage, FAO Plant Production and Protection Paper. 161. FAO.
- Pahlow, G. (1991): Role of microflora in forage conservation. In *Proceedings of the Conference on Forage Conservation Towards 2000*, Braunschweig, Landbauforschung Völkenrode. Sonderheft 123.
- Park, R. S. e. (2005): Silage production and utilisation. *Proceedings of the XIVth International Silage Conference, a satellite workshop of the XXth International Grassland Congress, Belfast, Northern Ireland*. Wageningen Acad. Publ.
- Peretzki, F. (2004): Gärrestverwertung aus nachwachsenden Rohstoffen; Fachinformationen zum Arbeitsschwerpunkt Biogas der bayerischen Landesanstalt für Landwirtschaft http://www.lfl.bayern.de/arbeitschwerpunkte/as_biogas/12229/
- Peretzki, F. und T. Dittmann, (2004): Einsatz als Dünger und Inverkehrbringen der Gärrückstände. *Biogashandbuch Bayern-Materialienband*. Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL). <http://www.lfl.bayern.de>
- Plöchl, M. and M. Heiermann (2002): Ökologische Bewertung der Bereitstellung landwirtschaftlicher Kosubstrate zur Biogaserzeugung. In: *Tagungsband: In Proceedings of the Biogas und Energielandwirtschaft - Potenzial, Nutzung, Grünes GasTM, Ökologie und Ökonomie.*, Potsdam, Bornimer Agrartechnische Berichte. 32.
- Plöchl, M., M. Heiermann, et al. (2001): "Wieviel Strom bringen Pflanzen?" *Neue Landwirtschaft* 3: 42-45.
- Podkówka, W. and A. Potkanski (1991): Forage conservation as influenced by chemical and physical properties of the crop. In *Proceedings of the Conference on Forage Conservation Towards 2000*, Braunschweig, Landbauforschung Völkenrode. Sonderheft 123.
- Preston, R. L. (2002): 2002 feed composition guide, BEEF magazine www.beef-mag.com. 2004. <http://images.beef-mag.com/files/13/feedcomp2002.pdf> [29]
- PRILLER, H.: mündliche Mitteilung, 2004
- PUDE, R.; BLIESENER, M.: Miscanthusanbau. In: www.miscanthus.de, 2001
- Putnam, D. H., Oplinger, E.S., Hicks, D.R., Durgan, B.R., Noetzel, D.M., Meronuck, R.A., Doll, J.D. and Schulte, E.E. (1990). Sunflower; in *Alternative Field Crops Manual*, University of Wisconsin Cooperative Extension Service, University of Minnesota Extension Service, Center for Alternative Plant & Animal Products. 2004. <http://www.hort.purdue.edu/newcrop/afcm/sunflower.html> [1]
- Quade, J., Ed. (1993): *Faustzahlen für Landwirtschaft und Gartenbau*. Münster-Hiltrup, Landwirtschaftsverl. 12., überarb., erg. und erw. Aufl. [48]
- Reisinger, K., C. Haslinger, et al. (1996): BIOBIB - a database for biofuels, UNIVERSITY OF TECHNOLOGY VIENNA, Institute of Chemical Engineering, Fuel and Environmental Technolog. 2005. <http://www.vt.tuwien.ac.at/biobib/biobib.html>
- Resch, R. (2002): 35 Jahre Gumpensteiner Silierversuche. 8.Alpenländisches Expertenforum. Irdning
- Resch, R. (2006): Silierung von Sudangras. schriftliche Mitteilung. Irdning, HBLFA Raumberg-Gumpenstein. [56]
- Richter, W. (2003): Triticale-Ganzpflanzensilage (GPST), Gärsäureentwicklung, aerobe Stabilität und Mykotoxinreduktion, Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL) Institut für Tierernährung und Futterwirtschaft. 2005. <http://www.stmlf-design2.bayern.de/alle/cgi-bin/go.pl?region=home&page=http://www.stmlf-design2.bayern.de/blt/infos/ganzpflanzensilage/ganzpflanzensilage.html> [13]
- Roschke, M. (2003): Verwertung der Gärrückstände. *Biogas in der Landwirtschaft*. M. Heiermann and M. Plöschl. Potsdam, Ministerium für Landwirtschaft, Umweltschutz und Raumordnung des Landes Brandenburg: 29-33.
- RUMPF: mündliche Mitteilung, 2004
- Sadiq, R., F. I. Khan, et al. (2005): "Evaluating offshore technologies for produced water management using GreenPro-I--a risk-based life cycle analysis for green and clean process selection and design." *Computers & Chemical Engineering* 29(5): 1023-1039.
- Sahm, H. (1981): Biologie der Methanbildung. *Chemie-Ingenieur Technik* 53, Nr.11 S. 854-863
- Sauvant, D. e. (2004): *Tables of composition and nutritional value of feed materials. pigs, poultry, cattle, sheep, goats, rabbits, horses and fish*. Wageningen, Wageningen Academic Publ. 1. publ. [66]

- SCHANTL, S. und SPANISCHBERGER, A., 2002: Der Anbau nachwachsender Rohstoffe in der EU, In: Nachwachsende Rohstoffe Nr. 26, Hrsg. Bundesanstalt für Landtechnik Wieselburg, Österreich
- Schattauer, A. und P. Weiland (2004a): Grundlagen der anaeroben Fermentation. Handreichung Biogasgewinnung- und Nutzung. FNR. Gülzow, Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V.
- Schattauer, A., und Weiland, P. (2004b): Beschreibung ausgewählter Substrate. Handreichung Biogasgewinnung- und Nutzung. FNR. Gülzow, Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V. [23]
- Schattner, S., Gronauer A. (2001): Methanbildung verschiedener Substrate – Kenntnisstand und offene Fragen. In Proceedings of the Gülzower Fachgespräche: Energetische Nutzung von Biogas: Stand der Technik und Optimierungspotenzial, Weimar, Gülzower Fachgespräche. Band 15. FNR (Fachagentur nachwachsende Rohstoffe e.V.).
- Scheffer, K., R. Stülpnagel, et al. (1996): Einfluss von Aufbereitung und Lagerung auf die Brennstoffeigenschaften feuchter Biomasse. Biomasse als Festbrennstoff : Anforderungen - Einflußmöglichkeiten - Normung ; 8./9. Mai 1996 im Hospitalhof, Stuttgart. Universität Stuttgart. Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V. Institut für Energiewirtschaft und Rationelle Energieanwendung. Münster, Landwirtschaftsverlag. 6: 256.
- Scherer, P. A. (2001): Mikrobiologie der Vergärung von festen Abfallstoffen. Biologische Behandlung organischer Abfälle. Peter; Weißenfels Kämpfer, Walter D. Berlin [u.a.], Springer.
- Schneider S. et al. (1991): Die Eignung von Triticale zur Bereitung von Ganzpflanzensilage. Landwirtschaft Schweiz Band 4 (8): 407-411. [24]
- Schmidt, L., F. Weißbach, et al. (1971): Erarbeitung von Parametern für die Vorhersage und Steuerung des Gärungsverlaufs bei der Grünfuttersilierung. Rostock, Oskar-Kellner Institut für Tierernährung.
- Scholwin, F., Weidele, T., et al., (2004 a): Gasaufbereitung und Verwertungsmöglichkeiten. Handreichung Biogasgewinnung- und Nutzung. FNR. Gülzow, Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V.
- Scholwin, F., et al., (2004 b): Anlagentechnik zur Biogasbereitstellung. Handreichung Biogasgewinnung- und Nutzung. FNR. Gülzow, Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V.
- Schroeder, J. W. (2004): Forage Nutrition for Ruminants, North Dakota State University Extension Service. 2005. <http://www.ext.nodak.edu/extpubs/ansci/dairy/as1250w.htm>
- Schroeder, J. W. (2004): Haylage and Other Fermented Forages, North Dakota State University Extension Service. 2005. <http://www.ext.nodak.edu/extpubs/ansci/dairy/as1252w.htm> [39]
- Schwerin, C. v. (2001): Erhöhung der Flächenproduktivität bei Raps durch energetische Nutzung der feuchtkonservierten Ganzpflanze. Berlin, dissertation.de [45]
- SCHWERTMANN, U; VOGL, W.: Bodenerosion durch Wasser: Vorhersage des Abtrags und Bewertung von Gegenmaßnahmen. Eugen Ulmer – Verlag, Stuttgart, 1987
- SEDLMEIER, J.: Nachwachsende Rohstoffe in Biogasanlagen. in: www.biogas-zentrum.de
- Seiter, S., C. E. Altemose, et al. (2004): "Forage Soybean Yield and Quality Responses to Plant Density and Row Distance." Agron J 96(4): 966-970.
- Sheaffer, C. C., J. H. Orf, et al. (2001): "Yield and Quality of Forage Soybean." Agron J 93(1): 99-106. [6]
- Sleat, R. M., Robert (1987): Hydrolytic bacteria. Anaerobic digestion of biomass. David P. Chynoweth, Isaacson, Ron. London [u.a.], Elsevier Applied Science.
- Spann, B., A. Obermaier, et al. (2002): "Nährstoffverdaulichkeit von Ganzpflanzensilage (GPS) aus Triticale bei Rind und Schaf bei unterschiedlicher Schnitthöhe der Triticale." Gruber Info 3: 17 - 20. [17]
- Speece, R. E. (1987a): Nutrient Requirements. Anaerobic digestion of biomass. David P. Chynoweth, Isaacson, Ron. London [u.a.], Elsevier Applied Science.
- Speece, R. E. (1987b): Toxicity. Anaerobic digestion of biomass. David P. Chynoweth, Isaacson, Ron. London [u.a.], Elsevier Applied Science.
- Speece, R. E. (1996): Anaerobic Biotechnology for Industrial Wastewaters. Nashville, Archae Press
- Steffen, R. et al., (2001): Feedstocks for Anaerobic Digestion. In: "Anaerobic Digestion: Making Energy and Solving Modern Waste Problems". AD-Nett Report.
- TECHNOLOGIE- UND FÖRDERUNGSZENTRUM (TFZ) im Kompetenzzentrum für Nachwachsende Rohstoffe: Sudangras – Anbauhinweise. In: www.tfz.bayern.de, 2004
- Tran L., D. L. (2002): "Comparison of fuzzy numbers using a fuzzy distance measure." Fuzzy Sets and Systems 130: 331-341.
- ULLRICH, C.G., 2002: Methodische Ansätze der Akzeptanzforschung; Mannheim, Frankfurt

- Undersander, D. (1999): Soybeans for Hay or Silage, University of Wisconsin-Extension Cooperative Extension. 2004. <http://www.uwex.edu/ces/forage/pubs/SOYBNFOR.html> [9]
- VDI, (2003) : Biogas - Energieträger der Zukunft : Tagung Leipzig, 11. und 12. März 2003 / VDI- Berichte; 1751.VDI-Gesellschaft Energietechnik. Düsseldorf
- VDI, (2005): Biogas - Energieträger der Zukunft : Tagung Osnabrück, 12. und 13. April 2005 / VDI -Berichte; 1872.VDI-Gesellschaft Energietechnik . Düsseldorf
- VDI, (2001): 2001: Biogas als regenerative Energie : Stand und Perspektiven ; Tagung Hannover, 19. und 20. Juni 2001 / VDI-Berichte; 1620, VDI-Gesellschaft Energietechnik . Düsseldorf
- Vetter A., R. G. (2004): Trockenfermentation von Energiepflanzen– Zukunftsperspektiven und Wirtschaftlichkeit. Tagungsband der Veranstaltung am 4./5. Februar 2004 in GülzowGülzower Fachgespräche. Band 23. FNR (Fachagentur nachwachsende Rohstoffe e.V.).
- WAGNER, K.: Neuabgrenzung landwirtschaftlicher Produktionsgebiete in Österreich: Teil I. Bundesanstalt für Agrarwirtschaft, Wien (Hrsg); Österreichischer Agrarverlag, Wien, 1990
- WAGNER, K.: Neuabgrenzung landwirtschaftlicher Produktionsgebiete in Österreich: Teil II. Bundesanstalt für Agrarwirtschaft, Wien (Hrsg); Österreichischer Agrarverlag, Wien, 1990
- Wang, X. and E. E. Kerre (2001a): "Reasonable properties for the ordering of fuzzy quantities (I)." Fuzzy Sets and Systems 118(3): 375-385.
- Wang, X. and E. E. Kerre (2001b): "Reasonable properties for the ordering of fuzzy quantities (II)." Fuzzy Sets and Systems 118(3): 387-405.
- WEBER, B.: Neuer Maisschädling unbeirrt im Vormarsch. Blick ins Land, 39. Jahrgang, Nr. 2, Februar 2004
- Weichenthal, B. A., D. D. Baltensperger, et al. (2003): Annual Forages for the Nebraska Panhandle, University of Nebraska-Lincoln Extension, Institute of Agriculture and Natural Resources. 2005. <http://www.ianrpubs.unl.edu/public/pages/publicationD.jsp?publicationId=116> [7]
- WEIDLINGER, W.: mündliche Auskunft
- Weiland, P. (2001a): Verfahrenstechnik der anaeroben Behandlung organischer Abfälle. Biologische Behandlung organischer Abfälle. Peter; Weißenfels Kämpfer, Walter D. Berlin [u.a.], Springer.
- Weiland, P. (2001b) Grundlagen der Methangärung – Biologie der Substrate. In Biogas als regenerative Energie – Stand und Perspektiven. Tagung Hanover, 19./20. Juni 2001, VDI-Gesellschaft Energietechnik, Düsseldorf, VDI-Berichte Nr. 1620.
- Weiland, P. (2003): Notwendigkeit der Biogasaufbereitung, Ansprüche einzelner Nutzungsrouten und Stand der Technik. In Proceedings of the Gülzower Fachgespräche: Workshop Aufbereitung von Biogas, FAL Braunschweig, Gülzower Fachgespräche. Band 21. Fachagentur nachwachsende Rohstoffe e.V..
- Weiland, P. (2004): Stand der Technik bei der Trockenfermentation - Zukunftsperspektiven. Tagungsband der Veranstaltung am 4./5. Februar 2004 in Gülzow, Gülzower Fachgespräche. Band 23 Fachagentur nachwachsende Rohstoffe e.V.
- Weiland, P. (2004): Qualitätskriterien zur Nutzung von Biomasse zur Biogasproduktion. Fachgespräch Energiepflanzen. 25./26. 2. 2004. Fachagentur nachwachsende Rohstoffe e.V..
- Weiland, P. (2005a): Landwirtschaftliche Vergärungsanlagen. Anaerobtechnik. Wolfgang; Dichtl Bischofsberger, Norbert; Rosenwinkel Karl-Heinz; Seyfried, Carl Franz; Böhnke, Botho;. Berlin [u.a.], Springer: 718.
- Weiland P., (2005b): Biogasmessprogramm – Bundesweite Bewertung von Biogasanlagen aus technologischer Sicht. In: KTBL-Schrift ; 420, 2005: Die Landwirtschaft als Energieerzeuger : wo liegen die Chancen für Biogas, Biokraftstoff, Biobrennstoff und Fotovoltaik ; KTBL-Vortragstagung vom 30. bis 31. März 2004 in Osnabrück / Hrsg.: Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e.V. (KTBL).
- Weiss, B. (1998): Small Grain Forages for Dairy Cattle, Cornell University, Dept. of Animal Science. 2005. <http://www.css.cornell.edu/forage/comment/sgrain.html> [38]
- Weißbach, F., Ed. (1998): Untersuchungen über die Beeinflussung des Gärungsverlaufes bei der Bereitung von Silage durch Wiesenkräuter verschiedener Spezies im Aufwuchs extensiv genutzter Wiesen : Abschlußbericht. Landbauforschung Völkenrode:. Braunschweig, Bundesforschungsanst. für Landwirtschaft Braunschweig-Völkenrode [43]
- Weißbach, F. und H. Honig (1996): Über die Vorhersage und Steuerung des Gärungsverlaufs bei der Silierung von Grünfütter aus extensivem Anbau, Landbauforschung Völkenrode
- Weißbach, F., H. Honig, et al. (1993): The effect of nitrate on the silage fermentation. In Proceedings of the 10 th International Conference on Silage Research, Dublin.

- Wellinger, A., (2001): Process Design of Agricultural Digesters. In: "Anaerobic Digestion: Making Energy and Solving Modern Waste Problems". AD-Nett Report.
- Wiedner, G., T. Guggenberger, et al. (2001): Futterwertabelle der österreichischen Grundfuttermittel. St. Pölten, Nö. Landeslandwirtschaftskammer [36]
- Wilhelm, H. and K. Wurm (1999): Futterkonservierung und -qualität. Silagebereitung, Heuwerbung, Getreide-, Maistrocknung. Graz, Stocker
- Wilkins, R. J. a. P. C. e. (2001). Legume silages for animal production : LEGSIL. In Proceedings of the international workshop, held in Braunschweig, 8-9 July 2001, Braunschweig : FAL , 2002. Sonderheft 234. Landbauforschung Völkenrode. [34]
- Wilkinson, J. M. (2005): Silage. Lincoln, Chalcombe Publ. 1. ed.[54]
- Willms, C. L. Drought Contingency Plan: Using Soybeans as Forage – Silage or Hay, www.beeflinks.com. 2005. http://www.beeflinks.com/soybean_silage.htm [10]
- WÖCKINGER, M.: Grundlage für die Betriebszweigauswertung, 2004
- www.feedbase.com. io - the French Feed Database, French Association of Animal Production (AFZ). www.feedbase.com [22]
- www.inaro.de: Steckbrief Saflor – *Carthamus tinctorius*
- Zadeh, L. (1965): "Fuzzy sets." Inform. and Control 8: 338-353.
- Zauner, E. and U. Küntzel (1986): "Methane production from ensiled plant material." Biomass 10(3): 207-223.
- ZENTRALANSTALT FÜR METEOROLOGIE UND GEODYNAMIK (ZAMG): Österreichischer Klimaatlas (Öklim, digital). Wien, 2003
- Zhu, and Lee, (1992): Comparison and ranking of fuzzy numbers. Fuzzy Regression Analysis. J.; Fedrizi Kacprzyk, M. Warsaw, Heidelberg, Omnitech Press, Physica-Verlag: 21-44.
- Zimmermann, H.-J. (1992): Fuzzy set theory and its applications. Boston [u.a.], Kluwer. 2., rev. ed

13. Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: 3-Säulen Modell	24
Abbildung 2: Die 87 Kleinproduktionsgebiete Österreichs und ihre Bezeichnungen mit dem KPG-Code	35
Abbildung 3: Darstellung des möglichen Ackerflächenpotentials für einen Energiepflanzenanbau in Österreich nach Abzug der für die Tierhaltung benötigten Flächen (ohne Berücksichtigung des Flächenbedarfs für die menschliche Ernährung).....	43
Abbildung 4: Anteil des Flächenüberschusses [%] bezogen auf die gesamte Ackerfläche in den jeweiligen Kleinproduktionsgebieten.....	44
Abbildung 5: Bilanz zwischen Futterbedarf und Futterproduktion des Grünlandes in Österreich (Buchgraber 2003)	47
Abbildung 6: Prognostizierte Bilanz zwischen Futterbedarf und Futterproduktion des Grünlandes in Österreich im Jahr 2010 (Buchgraber 2003).....	48
Abbildung 7: Spezifisches Potential für das Szenario Fruchtfolge 1 auf der gesamten Stilllegungsfläche inkl. Überschuss aus dem Grünland	52
Abbildung 8: Spezifisches Potential für das Szenario Fruchtfolge 1 auf 30 % der Stilllegungsfläche inkl. Überschuss aus dem Grünland	53
Abbildung 9: Spezifisches Potential für das Szenario Fruchtfolge 1 auf 5 % der Ackerfläche inkl. Überschuss aus dem Grünland	53
Abbildung 10: Spezifisches Potential für das Szenario Fruchtfolge 1 auf 10 % der Ackerfläche inkl. Überschuss aus dem Grünland	54
Abbildung 11: Spezifisches Potential für das Szenario Fruchtfolge 1 auf 20 % der Ackerfläche inkl. Überschuss aus dem Grünland	54
Abbildung 12: Spezifisches Potential für das Szenario Fruchtfolge 2 auf der gesamten Stilllegungsfläche inkl. Überschuss aus dem Grünland	55
Abbildung 13: Spezifisches Potential für das Szenario Fruchtfolge 2 auf 30 % der Stilllegungsfläche inkl. Überschuss aus dem Grünland	55
Abbildung 14: Spezifisches Potential für das Szenario Fruchtfolge 2 auf 5 % der Ackerfläche inkl. Überschuss aus dem Grünland	56
Abbildung 15: Spezifisches Potential für das Szenario Fruchtfolge 2 auf 10 % der Ackerfläche inkl. Überschuss aus dem Grünland	56
Abbildung 16: Spezifisches Potential für das Szenario Fruchtfolge 2 auf 20 % der Ackerfläche inkl. Überschuss aus dem Grünland	57
Abbildung 17: Allgemeines Verfahrensschema einer Biogasanlage mit Aufbereitung des Substrates, Faulturm (Biogasreaktor), Nachgärraum (Endlager), Gasspeicher, Gasverwertung, Gärrestaufbereitung und notwendiger Sicherheitseinrichtungen (Braun, 2002)	60
Abbildung 18: Allgemeiner Verfahrensablauf der Biogaserzeugung nach FNR (2004)	62
Abbildung 19: notwendige Bearbeitungsschritte für die Erstellung eines Mehrzielplanungskonzepts	69
Abbildung 20: Gruppierung der Kenngrößen für die Bewertung der Eignung mittels fuzzy composite programming	74
Abbildung 21: Bewertung der Bereitstellung und Lagerung mittels Fuzzy Composite Programming ohne Anwelken	78
Abbildung 22: Bewertung der Bereitstellung und Lagerung mittels Fuzzy Composite Programming mit Anwelken und der verbalen Bewertung der Körner	83
Abbildung 23: verbales Bewertungsschema für die Bereitstellung und Lagerung der Körnerfrüchte: Eine ausführliche Begründung der gewählten Bewertung findet sich in Brändle (2006).	85
Abbildung 24: Bewertung der Energiepflanzen bezüglich ihrer Eignung für die Methangärung mittels fuzzy composite programming, bezogen auf 1 kg Trockenmasse.....	95
Abbildung 25: Bewertung der Energiepflanzen bezüglich ihrer Eignung für die Methangärung mittels fuzzy composite programming, bezogen auf 1 kg Frischmasse.....	97
Abbildung 26: Bewertung der Energiepflanzen bezüglich ihrer Eignung für die Düngung nach erfolgtem anaeroben Abbau mittels fuzzy composite programming	99

Abbildung 27: Bewertung der Energiepflanzen bezüglich der Eignung für den Biogasprozess.....	103
Abbildung 28: Aufbau einer Ökobilanz	107
Abbildung 29: Schema des Biogas-Prozesses.....	109
Abbildung 30: Einteilung der Wirkungskategorien	111
Abbildung 31: Einfluss einzelner chemischer Verbindungen auf die Wirkungskategorien (Brentrup 2001).....	114
Abbildung 32: gesamte CO ₂ -Äquivalentien der einzelnen Energiepflanzen	128
Abbildung 33: gesamte SO ₂ -Äquivalentien der einzelnen Energiepflanzen.....	129
Abbildung 34: gesamter KEA der einzelnen Energiepflanzen	130
Abbildung 35: gesamte Umweltwirkungen der Energiepflanzen.....	131
Abbildung 36: Deckungsbeitrag bei gleich bleibendem Substratpreis (0,05 € / kg)	139
Abbildung 37: Substratpreis bei vorausgesetztem Deckungsbeitrag von 200 € pro Hektar	140
Abbildung 38: Preis pro m ³ CH ₄ bei gleich bleibendem Substratpreis	141
Abbildung 39: Deckungsbeitrag bei gleich bleibendem Methanpreis von 0,2 € pro m ³	143
Abbildung 40: Schema für die zusammenfassende Energiepflanzenbewertung nach wirtschaftlichen, ökologischen und naturwissenschaftlichen Gesichtspunkten.	151
Abbildung 41: Energiepflanzenbewertung mit gewählter Gewichtung: Eignung: 0,3; Wirtschaftlichkeit: 0,4; Umweltauswirkungen: 0,3.....	155
Abbildung 42: Anteil der landwirtschaftlichen Nutzfläche an der Gesamtfläche Österreichs	176
Abbildung 43: Anteil des Ackerlandes an der gesamten landwirtschaftlichen Nutzfläche	176
Abbildung 44: Anteil von Grünland [%] an der gesamten landwirtschaftlichen Nutzfläche	177
Abbildung 45: Gesamt-DGVE pro ha reduzierter landwirtschaftlicher Nutzfläche	178
Abbildung 46: Anteil des Flächenüberschusses [%] bezogen auf die gesamte Ackerfläche in den jeweiligen Kleinproduktionsgebieten.....	179
Abbildung 47: Bilanz zwischen Futterbedarf und Futterproduktion des Grünlandes in Österreich (Buchgraber 2003)	180
Abbildung 48: Spezifisches Potential für das Szenario Fruchtfolge 1 auf 10 % der Ackerfläche inkl. Überschuss aus dem Grünland	181
Abbildung 49: Akzeptanz von Energiepflanzen in der Gemeinde des Modelprojektes S.....	182
Abbildung 50: Situation in Bezug auf Aufmerksamkeit	183
Abbildung 51: Aktivieren der Akzeptanz	184
Abbildung 52: Die Rolle der Frauen im Netzwerk	185
Abbildung 53: Erwartung an die Kostenentwicklung.....	186
Abbildung 54: Einschätzung des Marktpotenzial	186
Abbildung 55: Die Rolle der Gemeinde	187
Abbildung 56: Sortenversuche des Institutes für Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung	194
Abbildung 57: Ertragsunterschiede der Silomaisgenotypen bei 10 Pfl./m ² (Bersenbrück 2002).....	195

14. Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Wirtschaftsdüngerlagerkapazität für 6 Monate bei verschiedenen Entmistungssystemen (Aktionsprogramm, 2003)	37
Tabelle 2: Jährlicher Festmist- und Kotanfall (365 Stalltage), Dichte und Zusammensetzung (Zusammenstellung: LUFA Oldenburg).....	46
Tabelle 3: Übersicht über die Energiepflanzen, ihre Erträge und Probleme bezüglich der Verwertung in Biogasanlagen	49
Tabelle 4: Erträge ausgewählter Energiepflanzen in verschiedenen Ertragslagen Österreichs [t TS/ha].....	51
Tabelle 5: Rohstoffe und Abfälle als Substrate für Biogasanlagen	61
Tabelle 6: Stoff- und Energiebilanz aerober und anaerober biologischer Prozesse	65
Tabelle 7: Volumenanteil der Hauptkomponenten im Biogas	66
Tabelle 8: Reihung der Energiepflanzen nach ihrer Eignung zur Bereitstellung und Lagerung, ohne Anwelken ..	80
Tabelle 9: Reihung der Energiepflanzen nach ihrer Eignung zur Bereitstellung und Lagerung, mit Anwelken und der Bewertung der Körner.....	82
Tabelle 10: verbale Bewertung der Lagerfähigkeit der Körner- und Knollenfrüchte:.....	84
Tabelle 11: Bewertung des Energiegehalts je kg Frischmasse	86
Tabelle 12: Differenz des optimalen Kohlenstoff-Stickstoff Verhältnisses zum Kohlenstoff-Stickstoffverhältnis der jeweiligen Pflanzenart (berechnet nach Tran und Duckstein, 2002):	87
Tabelle 13: Differenz des optimalen Kohlenstoff-Phosphor Verhältnisses zum Kohlenstoff-Phosphorverhältnis der jeweiligen Pflanzenart (berechnet nach Tran und Duckstein, 2002):	88
Tabelle 14: Differenz des optimalen Kohlenstoff-Schwefel Verhältnisses zum Kohlenstoff-Schwefelverhältnis der jeweiligen Pflanzenart (berechnet nach Tran und Duckstein, 2002):	88
Tabelle 15: Bewertung Composite Index Nährstoffverhältnis	89
Tabelle 16: verbale Bewertung des Fasergehaltes der ausgewählten Energiepflanzen:.....	90
Tabelle 17: Bewertung des Fuzzy Index Gasqualität.....	91
Tabelle 18: Reihung der Fuzzy Composite Indices für die Methangärung, bezogen auf Trockenmasse, nach Tran und Duckstein (2002).....	92
Tabelle 19: Reihung der Fuzzy Composite Indices bezüglich der Eignung für den Biogasprozess, nach Tran und Duckstein (2002).....	101
Tabelle 20: Düngereinsatz je Hektar bei den Energiepflanzen	118
Tabelle 21: Umweltwirkungen pro kg Mineraldünger.....	118
Tabelle 22: gesamte Umweltwirkungen der Düngung je Hektar	119
Tabelle 23: Pflanzenschutzmitteleinsatz je Hektar bei den Energiepflanzen	120
Tabelle 24: Umweltwirkungen pro kg Pflanzenschutzmittel	120
Tabelle 25: gesamte Umweltwirkungen des Pflanzenschutzes je Hektar	121
Tabelle 26: Treibstoffeinsatz je Hektar bei den Energiepflanzen	122
Tabelle 27: Umrechnungsfaktoren für den Treibstoffeinsatz	122
Tabelle 28: Gesamte Umweltwirkungen des Treibstoffeinsatzes je Hektar	123
Tabelle 29: gesamte Umweltwirkungen je Hektar bei den Energiepflanzen	124
Tabelle 30: Ertragspotential der unterschiedlichen Energiepflanzen	125
Tabelle 31: Berechnung der Funktionellen Einheit	126
Tabelle 32 Umweltwirkungen bezogen auf die Funktionelle Einheit	127
Tabelle 33: Ertragswerte incl. zusätzlicher Energiepflanzen	133
Tabelle 34: Variable Kosten des Energiepflanzenbaues in Euro	134
Tabelle 35: Wirtschaftlichkeit mit Substratpreis von 0,05 € pro kg.....	135

Tabelle 36: Wirtschaftlichkeit mit DB von 200 € pro Hektar	136
Tabelle 37: Methanertrag der einzelnen Energiepflanzen	137
Tabelle 38: Preis pro m ³ Methan bei gleich bleibendem Substratpreis.....	138
Tabelle 39: Aufstellung der positiv bzw. negativ bewerteten Energiepflanzen	144
Tabelle 40: Dimensionen der Akzeptanz von Biogasanlagen, mit Energiepflanzen betrieben	149
Tabelle 41: Reihung der Energiepflanzen mit gewählter Gewichtung: Eignung: 0,3; Wirtschaftlichkeit: 0,4; Umweltauswirkungen: 0,4.....	153

15. Anhänge

Die Anhänge sind beim Projektnehmer Profactor Produktionsforschungs GmbH erhältlich.

ANHANG 1: Pflanzenbauliche Charakterisierung ausgewählter Energiepflanzen

ANHANG 2: Überblick über die 2358 österreichischen Gemeinden

ANHANG 3: Rationen diverser Nutztiere

ANHANG 4: INVEKOS – Auswertung

ANHANG 5: Wirtschaftsdüngeranfall in Tonnen Trockensubstanz in den einzelnen Kleinproduktionsgebieten

ANHANG 6: Aktuelle und prognostizierte Futterbilanz [t TS] auf den Grünlandflächen Österreich

ANHANG 7: Gesamtertragspotential zweier Fruchtfolgen für 5 verschiedene Flächenszenarien

ANHANG 8: Charakterisierung der Prozessschritte zur Biogasproduktion und Auswahl der Kenngrößen für die Bewertung

ANHANG 9: Modellerstellung zur Bewertung der Biogasproduktion aus Energiepflanzen

ANHANG 10: Berechnungsschritte

ANHANG 11: Treibstoffaufwand

ANHANG 12: Fragebogen zur Erhebung der Biogasakzeptanz

ANHANG 13: Arbeits-Handbuch

ANHANG 14: Tabellarische Ergebnisse der Befragung in der Gemeinde des Modellprojektes