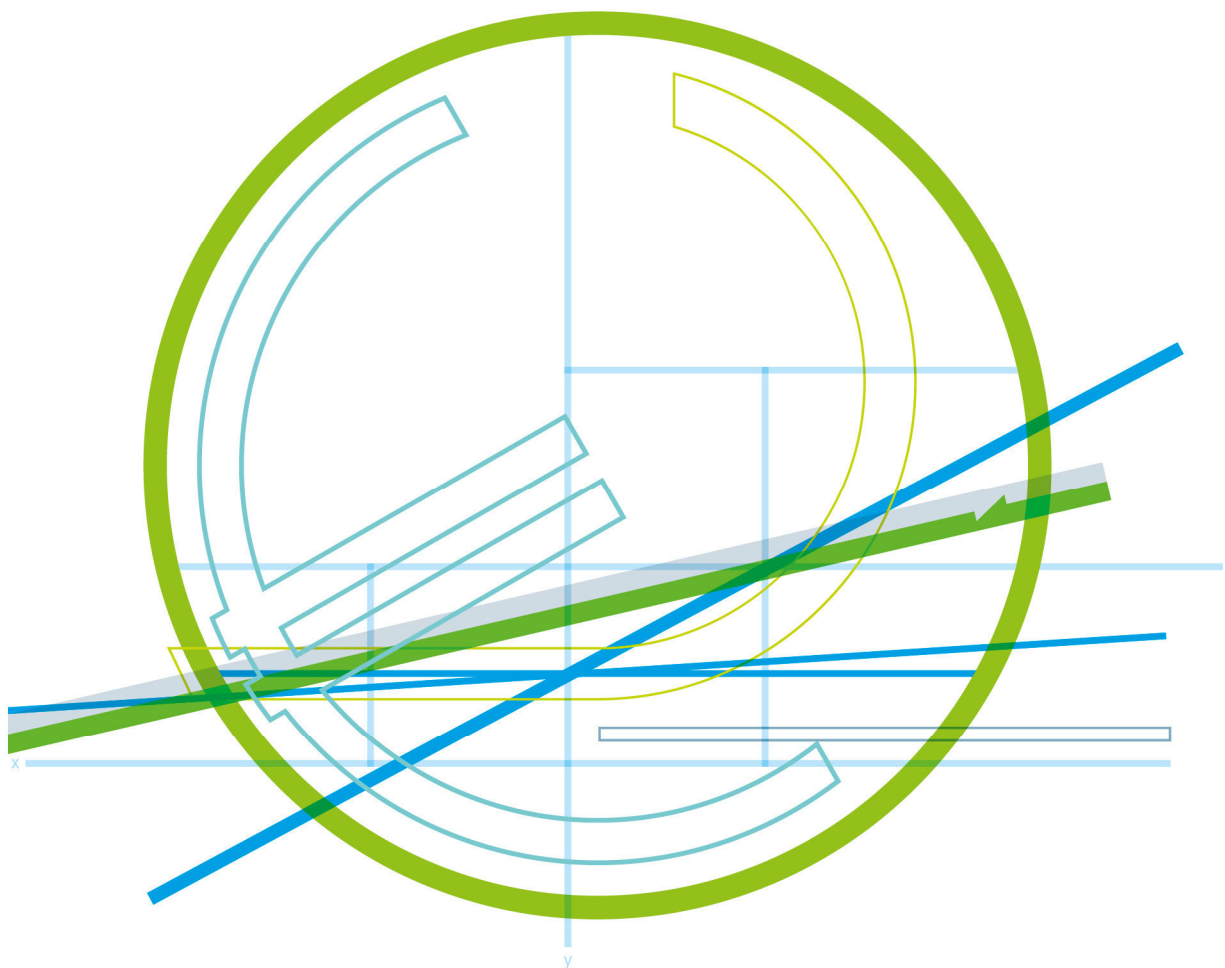


Optimierung der Schnittstelle zwischen agrarischer Landnutzung und Verwertung erneuerbarer agrarischer Energieträger



VORWORT

Die Publikationsreihe **BLUE GLOBE REPORT** macht die Kompetenz und Vielfalt, mit der die österreichische Industrie und Forschung für die Lösung der zentralen Zukunftsaufgaben arbeiten, sichtbar. Strategie des Klima- und Energiefonds ist, mit langfristig ausgerichteten Förderprogrammen gezielt Impulse zu setzen. Impulse, die heimischen Unternehmen und Institutionen im internationalen Wettbewerb eine ausgezeichnete Ausgangsposition verschaffen.

Jährlich stehen dem Klima- und Energiefonds bis zu 150 Mio. Euro für die Förderung von nachhaltigen Energie- und Verkehrsprojekten im Sinne des Klimaschutzes zur Verfügung. Mit diesem Geld unterstützt der Klima- und Energiefonds Ideen, Konzepte und Projekte in den Bereichen Forschung, Mobilität und Marktdurchdringung.

Mit dem **BLUE GLOBE REPORT** informiert der Klima- und Energiefonds über Projektergebnisse und unterstützt so die Anwendungen von Innovation in der Praxis. Neben technologischen Innovationen im Energie- und Verkehrsbereich werden gesellschaftliche Fragestellung und wissenschaftliche Grundlagen für politische Planungsprozesse präsentiert. Der **BLUE GLOBE REPORT** wird der interessierten Öffentlichkeit über die Homepage www.klimafonds.gv.at zugänglich gemacht und lädt zur kritischen Diskussion ein.

Der vorliegende Bericht dokumentiert die Ergebnisse eines Projekts aus dem Forschungs- und Technologieprogramm „Energie der Zukunft“. Mit diesem Programm verfolgt der Klima- und Energiefonds das Ziel, durch Innovationen und technischen Fortschritt den Übergang zu einem nachhaltigen Energiesystem voranzutreiben.

Wer die nachhaltige Zukunft mitgestalten will, ist bei uns richtig: Der Klima- und Energiefonds fördert innovative Lösungen für die Zukunft!

A handwritten signature in black ink, reading 'Theresia Vogel'.

Theresia Vogel
Geschäftsführerin, Klima- und Energiefonds

A handwritten signature in black ink, reading 'Ingmar Höbarth'.

Ingmar Höbarth
Geschäftsführer, Klima- und Energiefonds

Inhalt

Vorwort.....	7
Konsortium	7
Kurzfassung	8
Abstract.....	10
1 Zusammenfassung.....	11
2 Einleitung und Methoden.....	12
2.1 Hintergrund und Ausgangslage für das Projekt OPAL	12
2.2 Das Projekt OPAL	13
2.2.1 Zwischenfrüchte	14
2.2.2 Gras und Grassilage vom Grünland.....	15
2.2.3 Bedeutung des Zwischenfruchtbaus	15
2.3 Ertragssimulation - Software	17
2.3.1 Konzeption der Software	18
2.3.2 Anforderungsprofil an die Softwarelösung	18
2.4 Einordnung in das Programm	20
2.4.1 Projektbeitrag: „Effizienter Energieeinsatz“	20
2.4.2 Projektbeitrag: „Erneuerbare Energien“	20
2.4.3 Projektbeitrag: „Intelligente Energiesysteme“	21
2.4.4 Projektbeitrag: „Sicherung des Wirtschaftsstandortes“	21
2.4.5 Projektbeitrag: „Erhöhung der F&E-Qualität“	22
2.4.6 Projektbeitrag: „Nachhaltiges Energiesystem“	22
2.4.7 Projektbeitrag: „Reduktion der Klimawirkungen“	23
2.5 Methoden	24
2.5.1 Management und Kommunikation	25
2.5.2 Modellentwicklung und Datenbasis.....	26
2.5.3 Historische Entwicklung der Datenbasis für den Energiepflanzen - Zwischenfruchtanbau sowie für energetische Grünlandnutzung	27
2.5.4 Berücksichtigung von Zwischenfruchtanbau sowie energetischer Grünlandnutzung.....	32
2.5.5 Datenerhebung.....	34
2.5.6 Meteorologische Modellentwicklung	39
2.5.7 Abschlagsalgorithmen	42
2.5.8 Implementierung der Softwarelösung	43
2.5.9 Dissemination.....	44
2.6 Zusammenfassung Kapitel 1	46
3 Grundlagen und inhaltliche Darstellung.....	48
3.1 Flächennutzung in Österreich	48
3.1.1 Ackerflächen.....	48

3.1.2	Grünlandflächen	51
3.2	Meteorologie & Klimawandel (Grundlagen).....	58
3.2.1	Aktuelle Klimaszenarien	60
3.3	Technologien zur energetischen Nutzung agrarischer Rohstoffe	62
3.3.1	Wärmeerzeugung	64
3.3.2	Kraft-Wärmekopplungsanlagen.....	66
3.3.3	Konversionsanlagen	70
3.3.4	Wirtschaftlichkeit und Marktreife	78
3.4	Grundlagen des Pflanzenwachstums.....	80
3.5	Zusammenfassung Kapitel 2	84
4	Ergebnisse und Schlussfolgerungen	86
4.1	Entscheidungskriterien.....	86
4.1.1	Marktreife der Technologie / Betriebssicherheit	87
4.1.2	Nahrungsmittelproduktion vor Energieproduktion	87
4.1.3	Gesicherte Verfügbarkeit der Rohstoffe	88
4.1.4	Potenzial zur Schließung von Kreisläufen.....	88
4.1.5	Nutzung der landwirtschaftlichen Reststoffe	88
4.1.6	Nutzung anderer organischer Reststoffe aus der Landwirtschaft	89
4.2	Beschreibung des gewählten Verfahrens der Biogasbewirtschaftung	89
4.2.1	Allgemeine Beschreibung zur Flächennutzung	89
4.2.2	Bodenbearbeitung und Ernte	89
4.2.3	Düngemanagement	90
4.2.4	Nährstoffbilanz.....	91
4.3	Synergieeffekte des Verfahrens.....	96
4.3.1	Humusbildung.....	96
4.3.2	Wasserspeicherfähigkeit.....	97
4.3.3	Bekämpfung / Verhinderung von Schädlingen und Pestiziden	98
4.3.4	Einsparung von CO ₂ —Emissionen.....	98
4.4	Nachhaltigkeitskriterien und Risikoprofil.....	104
4.4.1	Risikoprofil der seriellen Acker- und Grünlandflächennutzung zur Biogaserzeugung	105
4.4.2	Zwischenfrucht - Risikoprofil	106
4.4.3	Grünlandboden - Risikoprofil	110
4.4.4	Energiepflanze – Risikoprofil	113
4.4.5	Lebensmittelpflanze (Hauptfrucht) - Risikoprofil.....	114
4.4.6	Atmosphäre- Risikoprofil.....	115
4.5	Zusammenfassung Kapitel 3	116
5	Software.....	118
5.1	Allgemeine Beschreibung	118
5.1.1	Ausgangsbasis Ertragsdaten	119
5.1.2	Modifizierung der Zwischenfrucht-Hektarerträge für spezifische regionale Gegebenheiten.....	126

5.1.3	Modifizierung der Grünland Hektarerträge für spezifische regionale Gegebenheiten.....	127
5.2	Schnittstellen zu anderen Programmen	128
5.2.1	GEMIS.....	128
5.2.2	Agro-biogas	128
5.2.3	KTBL-Wirtschaftlichkeitsrechner	129
5.2.4	Nachhaltigkeitstool RegioPlan des Instituts für Industrielle Ökologie der NÖ Landesakademie.....	129
5.3	Praktische Tests der Software und deren Ergebnisse, Post-Test Modifikation der Software	129
5.4	Zusammenfassung Kapitel 4	130
6	Ausblick.....	132
7	Literaturverzeichnis	134

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Zusammenfassung der Projektstruktur	25
Abbildung 2: Verlauf der Regressionsfunktion zur Schätzung des relativen Ertrages aus dem saisonalen Niederschlag und der Temperatur während der Wachstumsperiode für den Bodentyp 1	38
Abbildung 3: Zweidimensionale Darstellung der Regression für den Bodentyp 1 (links) und den Bodentyp 4 (rechts).	39
Abbildung 4: Die DSSAT Ertragssimulationsmodelle (Ein- und Ausgabeparameter) ..	41
Abbildung 5: Entwicklung der Kulturartenverteilung in Österreich seit 1960.....	48
Abbildung 6: Landwirtschaftlich genutzte Flächen nach Bundesländern laut INVEKOS-Daten 2008.....	49
Abbildung 7: Entwicklung des Anbaus auf Ackerflächen von 2000 bis 2008.....	50
Abbildung 8: Selbstversorgungsgrad bei Getreide im Zeitraum 1985 bis 2009	51
Abbildung 9: Landwirtschaftliche und forstwirtschaftliche Flächennutzung in Österreich (CORINE 1990 - UBA; BMLFUW 2007; SCHAUMBERGER 2008)	55
Abbildung 10: Biomasseerträge der unterschiedlich genutzten Wiesengrasbestände (Amon 2006)	57
Abbildung 11: Spezifischer Methanertrag der Wiesengrasbestände im Verlauf der einzelnen Aufwüchse (Amon 2006)	57
Abbildung 12: Methanhektarerträge der Wiesengrasbestände in den einzelnen Aufwüchsen (Amon 2006)	58
Abbildung 13: Überblick zur energetischen Nutzung agrarischer Rohstoffe (Kalt et al. 2010)	63
Abbildung 14: Entwicklungsstand von Pyrolysetechnologie Quelle: PYNE 2010	77
Abbildung 15 Übersicht über die wesentlichsten Wirkungszusammenhänge im System Boden-Pflanze-Atmosphäre (Eitzinger et al. 2009)	80
Abbildung 16: Schema von Wirkungen klimatischer Steuergrößen auf Kohlenstoff- und Wasserhaushalt sowie Prozesse des Nährstoffkreislaufs (Eitzinger et al. 2009).....	82
Abbildung 17: Stickstoffkreislauf (Pfundtner 2008)	82
Abbildung 18 Schema der Humusbilanz aus Zufuhr und Abbau organischer Substanz (Eitzinger et al. 2009)	83
Abbildung 19: Aufwuchs in Abhängigkeit von der Bodenbearbeitungstiefe (Koch 2008)	90

Abbildung 20: Schema einer Schlagbilanz (Input-Output-Bilanz bezogen auf einen Schlag), ausgerichtet hier für Stickstoff.(Hartl et al 2002, Biogasgülle Eintrag ISR 2010)	92
Abbildung 21: Nährstoffkreislauf, -analyse einer Biogasanlage, sowie der direkt und indirekt beteiligten Betriebe im Jahr 2006 (Thaler 2007)	93
Abbildung 22: VDLUFA-Standpunkt zur Humusbilanzierung, Quelle: (Koch 2010)	97
Abbildung 23: Auswirkung von Schadverdichtungen auf Grünlandböden (Juritsch 2008)	111
Abbildung 24: Ökologisches Risikoprofil für den Energiepflanzen- Zwischenfruchtanbau im Vergleich zu konventioneller Bewirtschaftung ohne Zwischenfruchtanbau	116
Abbildung 25: Potenzielle Ertragsverluste der Biomassefrucht bei Verschiebung des Saattermins	120
Abbildung 26: Räumliche Verteilung der potenziellen Zwischenfrucht-Biomasseerträge aufgrund der klimatischen Bedingungen der Temperatur und des Niederschlages (1961-1990) in Österreich	121
Abbildung 27: Räumliche Verteilung der potenziellen Grünland-Biomasse-Erträge aufgrund der klimatischen Bedingungen der Temperatur und des Niederschlages (1961-1990) in Österreich	122
Abbildung 28: Darstellung der jährlichen Trockenmasseerträge in t/ha auf 4 verschiedenen Schlägen der Biogasanlage Reitbach/Eugendorf (reine Biogasbewirtschaftung)	124

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Regressionsanalysen für jede Bodenklasse.....	37
Tabelle 2: Klassengrenzen entsprechend der nutzbaren Feldkapazität des effektiven Wurzelraums (AG Boden 1996).....	41
Tabelle 3: Verteilung des Grünlandes auf Flächenklassen Jahresniederschläge auf das Grünland in den einzelnen Bundesländern im Durchschnitt der Jahre 1960-1990, in Prozent (gesamtes Grünland eines Bundeslands = 100%) nach INVEKOS 2003 (Buchgraber et al. 2006).....	55
Tabelle 4: Technologien zur Biomassenutzung, Stand 2010 (Quelle: ISR).....	79
Tabelle 5: Bilanzgrößen für Stickstoff - grobe Richtwerte (Hartl et al. 2002)	92
Tabelle 6: NPK-Saldo der Viehwirtschaftsbetriebe (Thaler 2007)	95
Tabelle 7: N-Saldo der Viehwirtschaftsbetriebe im Jahr 2006 (Thaler 2007).....	95
Tabelle 8: Beurteilung des Nährstoffsaldos	95
Tabelle 9: Wärmebedarf des untersuchten Gemeindegebiets	98
Tabelle 10: Energieeinsatz Ist-Szenario	99
Tabelle 11: Treibhausgas-Emissionen der verschiedenen untersuchten Varianten ..	101
Tabelle 12: KEV der verschiedenen untersuchten Varianten.....	102
Tabelle 13: Darstellung der wichtigsten eingesetzten Energieträger nach verschiedenen untersuchten Varianten	102
Tabelle 14: Stofflicher Bedarf bei den verschiedenen untersuchten Varianten	103
Tabelle 15: Auszug aus den Ertrags- und Anbaudaten für Zwischenfrüchte	122
Tabelle 16: im Programm implementierte Zwischenfruchtmischungen und zugehörige Referenzerträge	123
Tabelle 17: Referenzerträge für Grünland nach Bodenklassen.....	124
Tabelle 18: Sonstige Feldfrüchte und Substrate	125

Vorwort

Nach Jahren intensiver Forschung sind die Erfahrungen und Erkenntnisse auf dem Gebiet der erneuerbaren Energie stark angewachsen. Die entsprechende Literatur ist von großer Reichhaltigkeit, Mannigfaltigkeit und Differenzierung. Dennoch erfolgt die Energiewende weg von fossiler und nuklearer und hin zu erneuerbarer Energie viel langsamer als es nötig wäre.

Die vorliegende Arbeit zeigt praktische Wege zur Erschließung zusätzlicher Biogaspotenziale auf, die ohne gleichzeitige Verringerung der Nahrungsmittelproduktion nutzbar sind.

Konsortium

Antragsteller (A) Partner (P)	Organisationstyp *	Hauptaufgabe im Projekt
A – Institut für Risikoforschung, Universität Wien, Vorgänger des Instituts für Sicherheits und Risikowissenschaften, BOKU, Wien	FE	Projektleitung und Organisation, Numerik, Implementierung
P1 – Planschmiede B. Schneider	KMU	Wirtschaftsmodelle – Design und Implementierung
P2 – Institut für Meteorologie, Universität für Bodenkultur H. Formayer, J. Eitzinger	FE	Klimadatenbank und Klimamodelle, Modellentwicklung Erträge und Wirtschaftlichkeit, Qualitätskontrolle und Evaluierung, Flächenertragssimulation, Düng- und Schnittmanagement
P3 – BEB Bioenergie AG H. Daberge	KMU	Design und Kostenabschätzung der Anlagen
P4 – TU Wien Energiewirtschaft G. Kalt, L. Kranzl	FE	Bioenergie-Technologien
P5 – W. Graf	SON	Modellentwicklung - Erträge und Wirtschaftlichkeit; Qualitätskontrolle und Evaluierung

* FE – Forschung und Entwicklung, KMU - Kleine und Mittlere Unternehmen, SON - Sonderberater

Das Projekt wurde gefördert aus Mitteln des Österreichischen Klima- und Energiefonds.

Kurzfassung

Spätestens im Zuge der Getreidekrise des Sommers 2007 wurde in Land- und Energiewirtschaft klar, dass die Abhängigkeit vom global gehandelten agrarischen Rohstoffmarkt mit dem Wunsch nach regionaler erneuerbarer Energieautonomie nicht vereinbar ist. Die Gründe für die eklatant gestiegenen Rohstoffpreise waren vielfältig; Fakt ist, dass ein Gleichlauf von Nahrungsmittel- und Erdölpreis beobachtet und zeitgleich die „Teller-Trog-Tank-Diskussion“ geboren wurde.

Im Rahmen des Projektes OPAL wurde eine praktikable und nachhaltige Lösung für die Schnittstelle zwischen Landnutzung (Ackerbau und Viehzucht) und Energiewirtschaft erarbeitet.

Der Fokus liegt dabei ausschließlich auf landwirtschaftlichen Nutzflächen (Ackerflächen und Grünflächen), forstwirtschaftliche Nutzflächen werden bewusst nicht betrachtet. Ein wichtiger Betrachtungspunkt sind die Klima- und Wetterprognosen sowie deren Auswirkungen auf die zu erwartenden zukünftigen Erträge und Saatgutmischungen der österreichischen Landwirtschaft.

Als Lösungsansatz stellt sich die kaskadenförmige Nutzung der landwirtschaftlichen Flächen dar, also die zeitlich hintereinander geschaltete Nutzung der Flächen durch unterschiedliche Systembeteiligte (Landwirtschaft, Tierhaltung, Energiewirtschaft). So können beispielsweise nach der Weizenernte Ende Juli noch bis zu 100 Tage Vegetationszeit für den Anbau von Zwischenfrüchten (eigene Saatgutmischungen zur Energiepflanzenproduktion) genützt werden oder der eine oder andere auf landwirtschaftlichen Grünflächen anfallende Grasschnitt (nach Auffüllung der Heu- und Silagelager der Tierwirtschaft) als Rohstoff für Biogasanlagen herangezogen werden.

Zentrale Fragestellungen

- Was sind die Synergien zwischen Land- und Erneuerbarer Energiewirtschaft und wie können sie genützt werden?
- Wie sehen die Klima- und Wetterprognosen aus und welche Ableitungen kann man daraus für die klimatischen Wachstumsbedingungen treffen?
- Wie können Rohstoffknappheit und Konkurrenzsituation in Bezug auf Flächennutzung und Rohstoffeinsatz vermieden werden?
- Lassen sich Land- und Energiewirtschaft ohne Ausbeutung des Bodens miteinander verschränken?

Ergebnisse

Die von OPAL erstellte **Software** (<http://www.risk.boku.ac.at/OPAL>) ist an der Schnittstelle zwischen Landnutzung, Landtechnik, Anlagenkonzeption, Standortanalyse und Investitionsentscheidungen angesiedelt. Sie dient in erster Linie dazu, den für einen bestimmten Standort den in der Landwirtschaft zu erwartenden zukünftigen Ernteertrag abzuschätzen, und zwar sowohl unter dem Blickwinkel der sich ändernden klimatischen Bedingungen als auch unter dem Blickwinkel von neuen Saatgutmischungen

und der Nutzung von zur Verfügung stehenden freien Grünflächen. Die Software wird online zur Verfügung gestellt. Ihre Bedienung wird durch eine benutzerfreundliche Oberfläche einfach gehalten.

Begleitet wird die Software durch eine **Studie**, die das Themengebiet sachlich aufbereitet und fachliche Hintergrundinformationen liefert.

Abstract

At the latest since the grain crisis of summer 2007 it became clear, that dependence on a globally trading agricultural market is not compatible with the desire for regional autonomy of renewable energy. There were different reasons for the strong rise in raw material prices, but fact is that a close connection of food and oil price could be observed and at the same time, the "plate-feeder-tank discussion" was born.

The project OPAL targets towards a practical and sustainable solution for the interface between land use (agriculture and livestock breeding) and energy production.

The focus is exclusively on agricultural land (cropland and grassland. Important points are the climate and weather forecasts and their impact on expected future production and seed mixtures of the Austrian agriculture.

The cascading use of agricultural land constitutes a method of solution. It is the consecutive land use by different stakeholders (agriculture, animal husbandry, energy) within the same growing season. For example after the wheat harvest in late July up to 100 days growing season can be used for the cultivation of catch crops (own seed mixtures for energy crop production), or additional cuts on grassland (after recovery of hay and silage for animal breeding) can be used as raw material for biogas facilities.

Central issues

- • What are the synergies between agriculture and renewable energy industry and how they can be utilized?
- • What are the climate and weather forecasts and what are the future climatic conditions for growth?
- • How can competition in terms of land use and resources be avoided?
- • Can classical agriculture and energy production be combined without exploitation of the soil?

Results

One main output of OPAL (<http://www.risk.boku.ac.at/OPAL>) is a **software**, that is located at the interface between land use, agricultural technology, plant design, location analysis and investment decisions. It serves primarily to estimate future yield that can be expected for a specific location; from the perspective of the changing climatic conditions as well as in the light of new seed mixtures and the use of available open grassland.

The software is available online. The operation is kept simple with a user-friendly interface.

The software is accompanied by a **study** that deals with the topic in depth and provides technical background information.

1 Zusammenfassung

Vor dem Hintergrund der wachsenden Konkurrenz zwischen Lebensmittel- bzw. Futtermittel- und Energiepflanzenanbau war es Ziel des Projekts OPAL eine Optimierung der Lebensmittel- und Energieproduktion in der Landwirtschaft derart vorzunehmen, dass Erträge aus Energiepflanzen erzielt werden können, ohne Erträge aus der Lebensmittelproduktion zu reduzieren. Dies geschieht durch die serielle Nutzung der zur Verfügung stehenden Flächen innerhalb einer Vegetationsperiode, wobei zuerst der Anbau von Nahrungsmitteln wie geeignetem Getreide oder Futtermitteln wie hinreichend lang aufwachsendem Gras erfolgt und nachgeschaltet eine Nutzung der Flächen zum Anbau von Zwischenfrüchten oder Gras mit kurzen Aufwuchszeiten.

Aus Vorprojekten vorliegende Daten zu Erträgen für Zwischenfrüchte und Gras wurden zur Kalibrierung von Wachstumsmodellen genutzt, die unter Verwendung der Temperatur- und Niederschlagswerte der Jahre 1961-1990 eine Abschätzung des zu erwartenden Ertrages an österreichischen Standorten mit einer Genauigkeit von 1 km erlauben. Weiters ist eine Simulation der Ertragsänderungen bei Klimaveränderungen möglich. Mithilfe dieser Simulationen konnte eine Sensitivitätsanalyse für ausgewählte Standorte durchgeführt werden.

Die starke Abhängigkeit der Erträge vom Zeitpunkt der Bodenbearbeitung und Aussaat (möglichst schnell nach Ernte der Hauptfrucht) wurde mit Hilfe von Zu- und Abschlägen modelliert.

Eine umfassende Betrachtung der bestehenden Technologien in Hinsicht auf die verarbeitbaren Rohstoffe, die Wirtschaftlichkeit und die Marktreife zeigte, dass Biogasanlagen die geeignetste Form zur Umwandlung der Rohstoffe in nutzbare Energie darstellen.

Die gewonnenen Daten flossen in ein Java basiertes Servlet ein, dass online eine Berechnung der Erträge für einen gewählten Standort erlaubt. Dieses erlaubt zusätzlich eine Abschätzung der Wirtschaftlichkeit einer auf den angegebenen Substraten beruhenden Biogasanlage. (<http://www.risk.boku.ac.at/OPAL>)

Eine Betrachtung der Synergie-Effekte des vorgeschlagenen Verfahrens zeigt auf, dass positive Effekte bei der Humusbildung, der Bodenwasserspeicherfähigkeit, Reduktion des Pestizideinsatzes sowie der Einsparung von CO₂-Emissionen bestehen.

Eine umfassende Betrachtung der potenziellen Risiken des Verfahrens im Vergleich zur konventionellen Landnutzung wurde ebenfalls angestellt. Es stellt sich heraus, dass zu den auftretenden Risiken, wie zusätzliche Bodenverdichtung oder Methanemission, wirksame Mitigationmöglichkeiten bestehen. Gleichzeitig werden negative Effekte der konventionellen Landnutzung gemindert.

2 Einleitung und Methoden

2.1 Hintergrund und Ausgangslage für das Projekt OPAL

Das Zusammenspiel der Produktion von Nahrungs- und Futtermitteln mit jener von erneuerbarer Energie in der Landwirtschaft wird mit einem zunehmend dichter werdenden Netz an entsprechenden Energieanlagen immer komplexer. Rohstoffknappheit sowie eine Konkurrenz hinsichtlich Flächennutzung und Rohstoffeinsatz für Nahrungsmittel- und Energieproduktion müssen vermieden, Synergien genutzt werden.

Die Landwirtschaft steht unter dem Druck, zusätzliche Produkte und Produktionsmengen auf der Fläche unterzubringen, ohne dass der Markt bereit wäre, Steigerungen der spezifischen Produktionskosten abzudecken. Rationell gestaltete Prozessketten und kurze Transportwege für alle ein- und auszubringenden Substrate sind nicht nur für Kosten deckende Landnutzung von entscheidender Bedeutung, sondern auch dafür, dass die Energiebilanz der Ökoenergieerzeugung möglichst positiv ausfällt.

Die Nachhaltigkeit der Bereitstellung von Strom, Wärme und Treibstoff aus erneuerbaren Agrarprodukten kann durch intelligente Abstimmung und Optimierung des Gesamtsystems aus Landnutzung, Rohstoffverwendung und Rohstofflogistik, Energietechnologien und Reststoffnutzung noch wesentlich gesteigert werden.

Investoren, Genehmigungsbehörden, Finanzierungs- und Förderstellen und Energiepolitikakteure legen derzeit in Mitteleuropa großen Wert auf solide Businesspläne für Projekte zur Nutzung agrarischer Rohstoffe, beachten dabei jedoch oft nicht die optimale Einbindung dieser Projekte in vorhandene regionale Strukturen und Prozessketten.

Es kommt daher immer wieder zu Problemen: So mussten beispielsweise im deutschen Biogassektor deutlich größere Rohstoffeinzugsbereiche als geplant in Kauf genommen werden, es kam zu regionalen Flächenkonkurrenzen, die Integration der Bioenergieproduktion in Fruchtfolgen unterblieb ebenso wie ein professionelles Düngemanagement. Anlagenwirtschaftlichkeit und Klimaentlastungswirkung haben darunter gelitten.

Die Praxis zeigt, dass interdisziplinäre Prozesskettenoptimierung zwischen Energieerzeugern und Landwirten nicht automatisch stattfindet, sondern dass mangelnde Information hier oftmals zum Versagen des Marktes führt. Es wird vom Landwirt oft nicht ein für die Bedürfnisse der Energieerzeugung optimiertes Produkt angeboten, sondern eine klassisch produzierte Marktf Frucht, die man eben auch energetisch nutzen kann – dafür ist sie dann aber oft zu teuer.

Die Marktsituation betreffend Entscheidungshilfen für Fachleute am Bioenergiesektor spiegelt diese Situation wieder. Materialien für Biogasanlagenplanung, Gaseinspeicherung, Pflanzenbau, Düngemanagement etc. werden isoliert und vollkommen losgelöst voneinander angeboten. Bei derart fragmentierter Sichtweise bleiben wichtige Entscheidungsgrundlagen außer Betracht.

Während das technische Verbesserungspotenzial der Energieerzeugung aus Biomasse nur unter höchstem Aufwand und höchsten Anforderungen an Forschungsexzellenz weiter erhöht werden kann, existiert ein enormes Verbesserungspotenzial im Bereich der Schnittstelle Landnutzung – Projektentwicklung. Gerade integrierte interdisziplinäre Betrachtung kann jedoch ein großes Potenzial zur Effizienzsteigerung mit vergleichsweise wenig (finanziellem) Aufwand erschließen.

Eine Software, die über die isolierte Betrachtung von Teilnutzwirkungen von Projekten zur Nutzung erneuerbarer Energieträger hinausgeht, ist derzeit weltweit nicht am Markt¹. Sie erscheint als praktikable Entscheidungshilfe für Projekte an der Schnittstelle zwischen regionalem agrarischen Produktionspotenzial und betriebswirtschaftlichen Investitionen im Bereich erneuerbarer Energie erforderlich. Ein derartiges Tool, trifft auf lebhaft Nachfrage bei Anlageninvestoren, Land- und EnergiewirtInnen, Förderstellen, Umwelteinrichtungen, Genehmigungsbehörden, bei BeraterInnen, PlanerInnen und angewandten ForscherInnen.

Der angestrebte ökonomische Nutzen des Projekts sowie des Softwaretools liegt nicht nur im volkswirtschaftlichen Bereich, sondern auch im betriebswirtschaftlichen – und zwar vor allem in der Verringerung des Anbau- und Investorenrisikos. Bedingt durch die Ergebnisse des Projektes OPAL können die potenziellen wirtschaftlichen Investitionen und Wirtschaftsweisen von den Marktteilnehmern besser identifiziert und genutzt werden.

2.2 Das Projekt OPAL

Hauptthema im Projekt OPAL ist die Optimierung des Energiepflanzenanbaus. Der Lösungsansatz liegt dabei in der Betrachtung von

1. eigens angebauten Energiepflanzen vom Acker, die nach der Ernte der Hauptfrucht Getreide, also seriell nach der Nahrungsmittelproduktion, aber noch innerhalb der Vegetationsperiode, angebaut und im Spätherbst geerntet werden (so genannte „Sommerzwischenfrüchte“)
2. Grasschnitt und Grassilage vom Grünland nach Bereitstellung von Rau- oder Silofutter für die Viehhaltung.

Die agrarische Flächennutzung erfolgt dabei in erster Linie in Hinblick auf eine zeitlich ausreichende und mengenmäßig gesicherte Nahrungs- und Futtermittelbereitstellung und in zweiter Linie in Hinblick auf eine energetische Nutzung, die sowohl wirtschaftlich als auch ökologisch sinnvoll ist.

¹ Marktstudie dazu von Schneider „Internationaler Vergleich am Markt verfügbarer Biogas-Kalkulationssoftwares und relevanter ähnlicher Softwareprodukte“, enthalten im Endbericht „Nachhaltiges Management biogener Ressourcen“, 2007

2.2.1 Zwischenfrüchte

Zwischenfruchtanbau ist der Anbau von Gründungs-, Energie- und Futterpflanzen zwischen zwei Hauptfrüchten zur Steigerung

- der Flächenproduktivität,
- des Boden- und Gewässerschutzes,
- des Humusaufbaus und der Biodiversität
- sowie ggf. der Futter- oder Bioenergienutzung.

Man unterscheidet nach Anbauzeiträumen zwei Arten von Zwischenfrüchten:

- die Sommerzwischenfrucht mit Trockenmassebildung im Spätsommer und Herbst
- die Winterzwischenfrucht mit Trockenmassebildung schwerpunktmäßig im Frühjahr

Für die österreichische Landwirtschaft ist vor allem der Sommerzwischenfruchtanbau von Bedeutung. Die Optimierung im Projekt OPAL konzentriert sich daher auf serielle Nutzung einer Haupt- und einer Sommerzwischenfrucht. Zu Beginn der jährlichen Vegetationsperiode steht dabei der Nahrungs- bzw. Futtermittelanbau und seine Ernte und darauf folgend – ohne Brachezeit – der Anbau und die Ernte von Zwischenfruchtmischungen für die Energieerzeugung, die sowohl eine nachhaltige Bodenfruchtbarkeit als auch eine beträchtliche Energieausbeute ermöglichen.

Die Konkurrenz zwischen Nahrungsmittel- und Energieerzeugung (wie sie derzeit auftritt, wenn z.B. Biogasanlagenbetreiber Maissilage oder gar Nassmais zukaufen) kann dadurch unterbunden werden.

Um hohe Trockenmasseerträge bei der Acker-Zwischenfrucht und damit die Wirtschaftlichkeit für die Energieproduktion zu gewährleisten, werden Vorgaben zum Aussaatzeitpunkt der Zwischenfrucht, der Pflanzenmischung, der Wachstumsdauer sowie zum Boden- und Düngemanagement gegeben.

Zwischenfruchtanbau ist nicht auf allen Ackerbauflächen Österreichs möglich. Ein ertragreicher Zwischenfruchtanbau hängt in erster Linie von der Länge der Vegetationsdauer ab, und diese wiederum ist von der Seehöhe und der Verfügbarkeit von Wasser determiniert.

Die serielle Nutzung von Ackerland für die Nahrungsmittel- und Biogaserzeugung wird derzeit bereits von einigen Betrieben in Österreich erfolgreich praktiziert. In das Projekt OPAL konnten daher praktische Erfahrungen aus mehrjährigen Zeitreihen integriert werden.

2.2.2 Gras und Grassilage vom Grünland

Eine energetische Grünlandnutzung kann mit einem analogen Ansatz zur Optimierung der Flächennutzung wie die oben erwähnten Zwischenfrüchte erfasst werden.

Die Vergärung von Gras und Grassilage ist Stand der Technik. Die Möglichkeit serieller Nutzung innerhalb einer Vegetationsperiode erschließt sich auch hier über die unterschiedliche Nutzung der jeweiligen Grasschnitte. Die ersten 1-2 Grasschnitte dienen der Bereitstellung von Silo- oder Raufutter und die Folgeschnitte der Erzeugung von Energie in Form von Biogas bzw. mittelfristig auch von Biotreibstoffen der 2. Generation.

Mittelfristig wird sich in dem Ausmaß, in dem das Konzept der Grünen Bioraffinerie marktfähig wird, als Alternative zu dieser seriellen Nutzung die kaskadenförmige Nutzung etablieren. Dabei werden aus Gras Kunststoffe, Futtermittel, Dämmstoffe und Energieträger ebenso erzeugt wie Wirkstoffe zur Vermarktung in der Industrie.

Die kaskadenförmige Nutzung von Grasland wird in Österreich in der Bioraffinerie Utzenaich bereits betrieben, die serielle Produktion von Nahrungsmitteln und Biogas ist unter anderem vom Betrieb Geveke in Norddeutschland bekannt [Geveke, 2008/2010]. Das System Geveke wird von den Milchviehbauern der Region nicht als Konkurrenz angesehen, sondern wird als in die ländliche Gemeinschaft integriert erlebt: Die Biogasanlage ergänzt die Milchviehwirtschaft und wirkt als regionaler Innovationsfaktor.

2.2.3 Bedeutung des Zwischenfruchtbaus

Über den Anbau von Zwischenfrüchten erreicht man

- eine Energieproduktion mit – bei ausreichenden Hektarerträgen – positiver Energiebilanz und Treibhausgas-Reduktionseffekt vor der Haustür
- eine Verringerung der Exportabhängigkeit von fossilen Energieträgern
- die Schaffung neuer Arbeitsplätze im Umfeld von Bau, Beratung und Betreuung von Biogasanlagen, sowie
- die Ausschaltung der Flächenkonkurrenz zwischen Biogas und anderen biogenen Energieträgern.

Im Grünland ist im Allgemeinen ebenfalls wie im Feldbau eine serielle Flächennutzung möglich. Sie besteht hier jedoch darin, dass die ersten 1 bis 2 Schnitte der Silo- oder Raufutterbereitstellung dienen, die Folgeschnitte aber energetisch genutzt werden. Somit geschieht die Optimierung für Grünlandflächen durch:

- serielle Flächennutzung für Futterbau und zur Energierohstoffgewinnung
- boden- und ertragsfördernde Bewirtschaftung
- bedarfsorientierte Grasnachsaat

- Biogaserzeugung mit integrierter Gärrestverwertung
- geschlossenem Nährstoffkreislauf.

Die Analyse und Optimierung bestehender oder neuer Biogasanlagensysteme ist NICHT Teil des Projektes OPAL. Solche Arbeiten liegen i.A. bereits vor.

Details zu Anbau und Nutzung von Zwischenfrüchten

Mit Hilfe technischer Verfahren kann Sonnenenergie vom Feld „in die Steckdose und den Radiator“ oder „in den Autotank“ gebracht werden. Bioenergie vom Feld ist technisch ausgereift, in der Praxis erprobt und ist als klimaschonende Alternative gegenüber der fossilen Energie im Kampf gegen den Klimawandel anzusehen.

Vieles spricht für eine bedarfsgerechte Energieproduktion neben der Nahrungsmittelerzeugung, jedoch sind die erforderlichen Flächen nicht in ausreichendem Maß verfügbar. Biodiesel, Bioethanol und neuerdings auch Biogas sollen nach Möglichkeit Erdöl und Erdgas sukzessive ersetzen – die Frage, wo allerdings die nötige Biomasse dafür angebaut werden soll, blieb bislang offen.

Aufgrund struktureller Verschiebungen in der Landwirtschaft ist damit zu rechnen, dass bereits in den nächsten Jahren große Agrarflächen aus der Nahrungsmittelproduktion herausgenommen werden. Die Befürworter von Biodiesel und Bioethanol sehen hier ihre Chance und forcieren den Anbau von Ölfrüchten und Energieweizen auf diesen Flächen. Auch die Biogasbranche reklamiert ihren Anspruch und setzte bisher auf „Energiepflanzen“ wie GPS (z.B. Mais oder Ganzpflanzensilage auf der Basis von Getreide).

Für die Biogasproduktion zeichnet sich mit der Möglichkeit einer Vor- und Nachnutzung zur Kulturfrucht „Getreide“ allerdings noch eine weitere - äußerst attraktive - Variante ab: Nach der Getreideernte im Juli können auf denselben Flächen Energiepflanzen angebaut werden, die noch rund 70-100 Tage Vegetationszeit bis zu ihrer Ernte im Herbst vor sich haben. Diese „Zwischenfrüchte“ dienen nicht nur zur Erzeugung von Biogas, sondern leisten als „Gärrest“ auch einen wesentlichen Beitrag zur Verbesserung des Bodens und ermöglichen eine nachhaltige Kreislaufwirtschaft.

Das Energiepotenzial der angebauten Biomasse ist dabei von größter Bedeutung, da nur energetisch hochwertige Substrate mit den fossilen Energieträgern Benzin, Erdgas und Diesel konkurrenzfähig sind. In dieser Beziehung sprechen gute Argumente für Biogas aus Energiepflanzen, da die Biogaserträge pro eingesetzter Tonne Trockensubstanz überdurchschnittlich hoch liegen. Aufwändige wissenschaftliche und praxisbezogene Gärversuche haben gezeigt, dass große Biogasmengen zukünftig ausschließlich durch die Vergärung von Energiepflanzen erzielt werden können, da deren Energieertrag pro Tonne Trockensubstanz (t/TS) erheblich höher liegt als bei Gülle oder Mist aus der Tierzucht. Aufwändige wissenschaftliche und praxisbezogene Gärversuche haben dies bereits gezeigt. (Amon et al. 2010)

Recherchen haben ergeben, dass die Wertschöpfung pro Hektar Ackerfläche um bis zu 30% gesteigert werden kann, wenn die Produktion von Energie und Nahrungsmitteln seriell ausgelegt wird. Verglichen mit der alleinigen Produktion von Weizen kann hier ein Mehrertrag an Trockensubstanz von bis zu 30% erzielt werden. Aus sozialer und volkswirtschaftlicher Sicht bietet sich also auf den verfügbaren Flächen der Anbau von Energiepflanzen für die Biogasgewinnung neben dem Getreide an.

In Österreich werden von der gesamten landwirtschaftlichen Nutzfläche rund 800.000 Hektar für den Getreideanbau genützt (Stand: 2006, Quelle: ÖSTAT), wobei Mais, Sorghum, Hirse und Buchweizen aufgrund ihres späten Erntezeitpunktes in der Kalkulationsgrundlage nicht berücksichtigt wurden.

Welche Kulturpflanzen eignen sich als Zwischenfrucht vor bzw. nach Getreide?

Als Energiepflanzen für die Zwischenfrucht vor und nach Getreide eignen sich fast alle Pflanzen, die in relativ kurzer Zeit bei abnehmendem Tageslicht eine respektable Menge an Biomasse produzieren können. Besonders geeignet hierfür scheinen Sonnenblumen, Erbsen, Wicken, Sudangras und diverse Kreuzblütler. Die Auswahl des Pflanzgutes sollte regionale Bedingungen wie Bodenbeschaffenheit und Klima berücksichtigen.

Schnittzeitpunkt

Im Grünland werden solche Gräser eingesetzt, die sowohl einen entsprechenden Futterwert als auch einen entsprechenden Energiewert für die energetische Nutzung in Biogasanlagen besitzen. Während die Raufutterernte nach dem Rispenschieben erfolgt, wird das „Energiefutter“ früher, z.B. vor dem Rispenschieben geschnitten, gehäckselt, in Fahrsilos siliert und gleichmäßig über das Jahr der Biogasanlage „verfüttert“. Durch derart frühere Ernte wird der Anteil holziger Biomasse (Lignin, Zellulosen, Hemizellulosen) in der Biomasse gering gehalten, was die rasche Substratvergärung fördert.

2.3 Ertragssimulation - Software

Mit einer im Projekt ausgearbeiteten Software, die ein Kernstück von OPAL darstellt, ist die Bestimmung von Flächenerträgen für Zwischenfruchtmischungen für alle Kleinproduktionsgebiete in Österreich möglich. Zusätzlich ermöglicht die im Projekt OPAL eingesetzte Methode der Ertragssimulation für diese Acker-Zwischenfruchtmischungen mit Hilfe agrarmeteorologischer Modellierung auch die Simulation von Erträgen bei wärmerer Witterung, erhöhtem oder verringertem Niederschlag. Somit kann der Anwender einerseits testen, wie sensibel Zwischenfruchtmischungen auf unterschiedliche Witterungsverhältnisse reagieren und somit sein Ertragsrisiko verringern, andererseits können Potenziale für zukünftige Perioden, die verstärkt vom Klimawandel betroffen

sein werden, jetzt schon flächenhaft, aber auch für einzelne Standorte in Österreich simuliert werden.

Die bisherigen Erfahrungen zeigen auf, dass Zwischenfruchterträge nicht nur vom Standort und der Witterung, sondern auch stark vom Agrarmanagement abhängen, d.h. Sie schwanken stark je nach Art und Weise sowie Zeitpunkt der Bodenbearbeitung, der Aussaat, Düngung und Ernte. NutzerInnen der im Projekt OPAL erstellten Software können daher für jede Zwischenfruchtmischung und jedes Anbaubiet zusätzlich unterschiedliche Angaben zum Anbau-, Dünge- und Erntemanagement eingeben und daraus Auswirkungen auf die Flächenenerträge ermitteln. Diese Ertragsdifferenzen werden vom Programm durch einen an in der Praxis erzielten unterschiedlichen Zwischenfruchterträgen validierten Zu/Abschlagsalgorithmus erfasst. Landwirte können so Anhaltspunkte dafür erhalten, welcher Bewirtschaftungsaufwand sich am gegebenen Standort am besten rechnet.

Schließlich sieht die Software auch die Möglichkeit vor, Flächenenerträge gezielt für einzelne Anbauflächen zu simulieren, indem man für eine Fläche in einem bestimmten österreichischen Kleinproduktionsgebiet auch mittlere Bodenwertzahlen und Hangneigungen sowie Himmelsrichtung der Hangneigung berücksichtigen kann.

Analoge Verfahren wie bei der Ertragssimulation von Zwischenfruchtmischungen kommen bei der Ermittlung der unterschiedlichen klimabedingten Grünlanderträge in Österreich sowie für unterschiedliches Management im Grünland zum Einsatz.

2.3.1 Konzeption der Software

Ein Schwerpunkt des Projektes OPAL war die Erstellung eines Programmsystems für Erneuerbare Energieproduktion aus agrarischer Biomasse und Gras. Das Tool dient der Optimierung von Standort-, Landnutzungs-, Technologie- und Investitionsentscheidungen an der Schnittstelle zwischen agrarischer Landnutzung und erneuerbarer Energieproduktion.

Die Software des Programmsystems OPAL ist online² für alle Interessierten zugänglich. Ihre Bedienung ist durch eine verständliche Benutzeroberfläche einfach gehalten. Die Zielgruppe des Programms sind einerseits Landwirte, die Energierohstoffe erzeugen oder erzeugen wollen, aber auch potenzielle Investoren im Bereich Biogas, Förderstellen und Genehmigungsbehörden für Anlagen zur erneuerbaren Energieproduktion.

2.3.2 Anforderungsprofil an die Softwarelösung

Dem Nutzer werden mit Hilfe der OPAL Software Entscheidungshilfen zu folgenden Fragestellungen angeboten.

² <http://www.risk.boku.ac.at/OPAL/>

- Kalkulation für Biogasprojekt mit Kraft-Wärme-Kopplung oder zur Gaseinspeisung und Treibstoffproduktion - durch Programmierung und Implementierung entsprechender Energie- und Massenbilanzen sowie betriebswirtschaftlicher Berechnungsalgorithmen.

Infolge des Fehlens technisch ausgereifter und wirtschaftlicher Pyrolysesysteme können derzeit für ein Pyrolyseölprojekt noch keine entsprechenden Entscheidungshilfen angeboten werden.

- Überschlags-Dimensionierung einer Anlage durch Implementierung entsprechender verfahrenstechnischer Kennwerte (Ist in dieser Version nicht vorgesehen).
- Empfehlung Rohstoffeinsatz für Acker und Grünland - durch Vorgabe entsprechender Zwischenfruchtmischungen beziehungsweise Grasschnittnutzungsoptionen.
- Vergleichsrechnung KWK – Gaseinspeisung - durch Berücksichtigung entsprechender wirtschaftlicher Kenngrößen.
- Empfehlung für Änderung Fruchtfolge für Österreich auf Kleinproduktionsgebietsbasis - kann auf Basis des derzeitigen Standes der Erprobung von Zwischenfruchtmischungen noch nicht angegeben werden.
- Nährstoffbilanz – Bewertung der Düngewirkung der Biogasgülle - wird im Endbericht behandelt. In der Software sollen Angaben zum Stickstoffgehalt der Biogasgülle in einer nächsten Ausbaustufe gegeben werden, die für eine Stickstoffbilanz relevant sind.
- Kompatibilität zu Lebenszykluskalkulationsprogrammen zur Bewertung von Auswirkungen auf den Treibhausgaseffekt - GEMIS.
- Simulation erwartbarer Flächenenerträge (auch langfristig unter dem Einfluss des Klimawandels) - wird durch agrarmeteorologische Modellierung erreicht (Basis des Klimas sind die letzten 40 Jahre) unter Berücksichtigung der unterschiedlichen Bodenklassen
- Verwertung biogener Reststoffe (Stroh) aus der Getreide- und Maisproduktion für die Pyrolyseölgewinnung – wird nicht im Detail behandelt, da die Technologie noch nicht ausgereift ist.

Qualitätskriterien

Die Entscheidungshilfe weist folgende Merkmale auf:

- Angepasst an geltende österreichische Legislative; in der Folge (außerhalb des Projekts) Einarbeitung der Rechtssysteme anderer Staaten.
- Bekannteste Kulturpflanzen im Handel für Biogaserzeugung (Auswahl von Vergärungsrohstoffen) sowie neue trockenresistente Energiepflanzen und Mischungen derselben

- Beurteilung von Tierzucht-, Ernte- und Verarbeitungsrückständen (Gülle, Stroh, Pülpe, Rübenblätter etc.)
- Gebietsscharf bis auf die Ebene von einem Quadratkilometer,
- Erweiterbar durch Rückmeldungen von Nutzern und in Reaktion auf Marktnachfrage.

2.4 Einordnung in das Programm

Im Folgenden wird dargestellt, welche Programmziele des FFG-Programms Energie der Zukunft im Speziellen berücksichtigt wurden.

2.4.1 Projektbeitrag: „Effizienter Energieeinsatz“

Das Projekt leistet einen bedeutenden Beitrag zur Steigerung der Energieeffizienz. Das aus dem Projekt resultierende Entscheidungshilfetool wird einsetzbar für:

- Standortentscheidung: Erzielung kurzer Wege des Rohstoffs und der Endprodukte der Ökoenergieanlagen (Transporteffizienz)
- Substratwahl: Eingliederung des Substrats in die Fruchtfolge mit dem Ziel, den Düngemiteleinsatz zu optimieren bzw. bei Biogaswirtschaft nur eigenen Dünger zu verwenden.
- Optimierte Flächennutzung: Durch die effiziente Nutzung vorhandener Flächen wird der Gesamtenergieeinsatz bezogen auf den Energie-Output optimiert.

2.4.2 Projektbeitrag: „Erneuerbare Energien“

Das Projekt setzt den Schwerpunkt auf erneuerbare Energien aus dem Bereich der Landwirtschaft. Diese haben in Österreich einen hohen Stellenwert, und es stehen hier bedeutende Umwälzungen bevor. Verstand man bislang unter Energieproduktion aus der Landwirtschaft vor allem Rapsanbau für Biodieselgewinnung, Maisanbau für Biogasanlagen, Getreideanbau für Heizzwecke und eventuell auch noch Getreide- und Rübenbau für Ethanolherzeugung, so wird sich in Zukunft der Nutzungsschwerpunkt erneuerbarer Energieträger vor allem in folgenden Ausprägungen zeigen:

- Synthesegase der zweiten Generation (Synthetisches Erdgas, Treibstoffproduktion durch Nutzung pflanzlicher Zellulosen und Hemizellulosen, u.ä.)
- Biogas als Bestandteil von Bioraffineriekonzepten, d.h. unter Nutzung der Milchsäure zur Produktion von Biokunststoffen, Erzeugung von Dämmstoffen usw.
- Einspeisung von aufbereitetem Biogas in Erdgasnetze, Betrieb von Biogasnetzen, Nutzung von komprimiertem, gereinigtem Biogas als Fahrgas
- Pyrolyse von Biomasse mit Flugstromtechnologie
- Verarbeitung von Pyrolyseslurry

- Pelletierung von Biomasse zu Heizzwecken.

Für den Ausbau dieser Energien sind integrierte regionale Konzepte unabdingbar, da derartige Anlagen sowohl große positive als auch große negative Synergiewirkungen unter einander besitzen. Der Ausbau dieser Technologien bedeutet ein Nebeneinander von Kleinanlagen und Großtechnologie, das große Anforderungen an die Standortwahl und die Einbindung in die Landbewirtschaftung stellt. Verbesserte Entscheidungshilfen in der Phase der Machbarkeitsstudien für agrarische Ökoenergieanlagen werden zunehmend der Hot Spot in der Bewertung der Frage sein, welches Ausbaupotenzial, aber auch welches gesellschaftliche Konfliktpotenzial erneuerbare agrarische Energieträger in Österreich besitzen.

2.4.3 Projektbeitrag: „Intelligente Energiesysteme“

Ein Hauptziel des Projekts ist die gezielte, effiziente Nutzung von Agrarflächen zur Energiegewinnung.

Derzeit kalkuliert jeder Investor sein Projekt selbst. Es findet keine Ausweisung von Vorrangflächen statt. Es findet keine systematische Anwendung von Synergien zur seriellen Ausnutzung von Energiepotenzialen statt. Die Verknüpfung von Agrar- und Energie-Produktionsstandorten wird zunehmend zum Problem, indem vermeidbar lange Transportwege der Inputbiomasse aber auch von Rückfuhrprodukten (Biogasgülle) in Kauf genommen werden.

In der Optimierung der Stoffströme zwischen Nahrungsmittel- und Energieerzeugung liegt ein enormes Verbesserungspotenzial. Energiepolitik, Investoren und Genehmigungs- und Förderstellen sollen ein Instrument in die Hand bekommen, um hier Optimierungen gezielt durchführen zu können.

2.4.4 Projektbeitrag: „Sicherung des Wirtschaftsstandortes“

- Der österreichische Partner aus dem Feld der Ökoenergieanlagenenerzeugung und ihres Betriebs wird das Projekt dazu verwenden, eine Expansion über Österreichs Grenzen hinaus zu planen.
- Das durch das Projekt angesammelte Know-how sowie die herzustellende Software sind international vermarktbare und verbessern Zahlungsbilanz und Inlandsbeschäftigung. Gelingt es, die Machbarkeitsstudien für Ökoenergieanlagen vermehrt im Inland zu erstellen, stellt dies ein bedeutendes Plus für Anlagenplanung, Anlagenbau und Anlagenbetreiber.
- Gelingt es, in Österreich die vorgegebene Ökoenergieproduktion mit niedrigeren Kosten und hoher Effizienz zu organisieren, stellt dies einen Standortvorteil dar.

2.4.5 Projektbeitrag: „Erhöhung der F&E-Qualität“

Die Forschungs- und Entwicklungsqualität zur Erreichung von „Energieautarkie“ ist sehr unterschiedlich und generell nicht weit gediehen. Vielfach wird Energieautarkie von politischen Entscheidungsträgern als Schlagwort und abstraktes Ziel in die Diskussion gebracht, in der Ansicht, dass man ruhig Dinge versprechen kann, deren Umsetzung mehr als eine Legislaturperiode lang dauert. Es fehlt in aller Regel nicht nur an Bewusstsein darüber, welch tief greifender Änderung der Energiepolitik es schon kurzfristig bedarf, um in einem 10-15-jährigen Zeithorizont die Autarkie zu erreichen, sondern es besteht auch keine einheitliche terminologische Sicht darauf, wann ein Gebiet als energieautark zu bezeichnen ist, wie die Region dabei abgegrenzt wird, wie das Verursacherprinzip auf Regionen umzulegen ist, inwieweit Treibstoffe und in Vorprodukten enthaltener Energieaufwand in derlei Betrachtungen einzufließen haben, usw.

Dieses Projekt wird zu einem Zeitpunkt tätig, in dem Standards zur Definition von Energieautarkie noch mitgestaltet werden können, und kann so Einfluss darauf nehmen, dass Begriffsklarheit besteht und Autarkisierung zu einem Unterfangen wird, dessen Fortschritt man auf einer allgemein gültigen Skala messen kann, ohne dass je nach Messmethode die Ergebnisse extrem schwanken.

2.4.6 Projektbeitrag: „Nachhaltiges Energiesystem“

Wirtschaftliche Nachhaltigkeit

- Durch das Entscheidungshilfetooll sollen solche Projekte angeregt und zur Investition motiviert werden, die gute Voraussetzungen für dauerhafte wirtschaftliche Tragfähigkeit auf Basis des Einsatzes neuester Technologien haben.
- Das Entscheidungshilfetooll verringert die Gefahr unternehmerischer Fehlschläge. Die Erfahrung zeigt, dass die Insolvenz eines Unternehmens im ländlichen Raum sehr weitgehende Folgen für die Investitionsbereitschaft in der betreffenden Branche hat; scheitert eine Anlage, werden auch Investitionspläne in Anlagen gestoppt, die gute Voraussetzungen für wirtschaftlichen Erfolg in sich tragen.

Soziokulturelle Nachhaltigkeit

- Agrarische Ökoenergieproduktion schafft Einkommen für die breite Masse der agrarischen Bevölkerung im ländlichen Raum, und limitiert den Nutzen nicht auf einen kleinen Kreis von Investoren.
- Die Landwirte sind weitgehend auch als Investoren und Co-Investoren der Energieproduktionsanlagen präsent. Gerade diesen Investorengruppen wird ein einfach bedienbares Entscheidungshilfetooll dazu verhelfen, dass sie nicht angesichts des schnellen technologischen Fortschritts in ein strukturelles Informationsdefizit gegenüber multinationalen Investoren gelangen. Ökoenergieanlagen entstehen schon

jetzt schwerpunktmäßig in Regionen mit ansonsten schlechtem Investitionsklima, geringer Eigenkapitaldecke und geringer Unternehmensgründungsraten. Es ist davon auszugehen, dass Ökoenergie künftig noch mehr als jetzt eine Stütze der Entwicklung benachteiligter ländlicher Regionen sein wird.

Ökologische Nachhaltigkeit

Die ökologische Nachhaltigkeit ist durch die folgenden Projekteinhalte gegeben:

- Die Bewertung einer Vielzahl von Pflanzen und biogenen Energierohstoffen.
- Die Berücksichtigung der Erfordernisse zur optimalen Eingliederung in die Fruchtfolge, das Düngemanagement und den Erntezeitpunkt sowie die Ernte- und Transportlogistik.
- Den Umstand, dass Energiepflanzen weitgehend ohne Mineraldüngung auskommen.
- Dadurch, dass Energienutzung von Gras aus Dauergrünland ohne derartige Entscheidungshilfe-Instrumente nur langsam in Gang kommt, obwohl die Marktchancen gut sind. Hier wird zu wenig beachtet, dass Biogasanlagen unter Einhaltung bestimmter Produktionsbedingungen deutliche Flächenertragssteigerungen bewirken. Das Freihalten des Dauergrünlands ist aber in den Grünlandregionen Österreichs generell von großer ökologischer Bedeutung, da die alternative Aufforstung zu problematisch hoher Bewaldungsdichte führt.
- Die mit dem Entscheidungshilfetool bewertbaren Agrarrohstoffe beinhalten keine gentechnisch veränderten Organismen. Durch intelligente Gesamtplanung aller Abläufe „well-to-wheel“, also vom Anbau bis zum Endkunden, werden Potenziale frei, die es ermöglichen, Anlagen kostendeckend auch ohne den Einsatz von grüner Gentechnik zu betreiben.

2.4.7 Projektbeitrag: „Reduktion der Klimawirkungen“

Die Reduktion des Treibhausgasausstoßes durch das Projekt ist indirekt und daher nicht quantifizierbar. Die Bedeutung des Projekts für die Treibhausgassituation wird jedoch sichtbar, wenn man die regionalen Treibhausgassimulationen, die in einem der Programme, die in das Entscheidungshilfeinstrument einfließen sollen, für drei österreichische Kleinregionen und etliche Stadtgemeinden schon erstellt worden sind, betrachtet.

Hier wurde der gesamte kommunale Handlungsspielraum auf sein Chancenpotenzial zur Reduktion der Treibhausgasemissionen betrachtet. Generell wurde dabei die Errichtung von Biogasanlagen als die Handlungsvariante mit dem höchsten Treibhausgasreduktionspotenzial bewertet, zumal da ja Methan ein um ein Vielfaches wirksames Treibhausgas als Kohlendioxid ist. Errichtet man eine Biogasanlage jedoch mit schlechter Energieausbeute, hohem Transportaufwand für Rohmaterial und Biogas-

gülle und unter Nutzung energieaufwändig produzierter Pflanzen und unter Vernachlässigung von Empfehlungen zu Gülleausbringung, Sortenwahl, Anbau- und Erntezeitpunkt, kann die Energie- und sogar die Treibhausgasbilanz ins Negative kippen. Somit würde die größte Chance des ländlichen Raums auf Treibhausgasreduktion vernichtet.

2.5 Methoden

Abbildung 1 zeigt die wesentlichen spezifischen Arbeitsschritte auf, die in dem Projekt OPAL vorgenommen wurden.

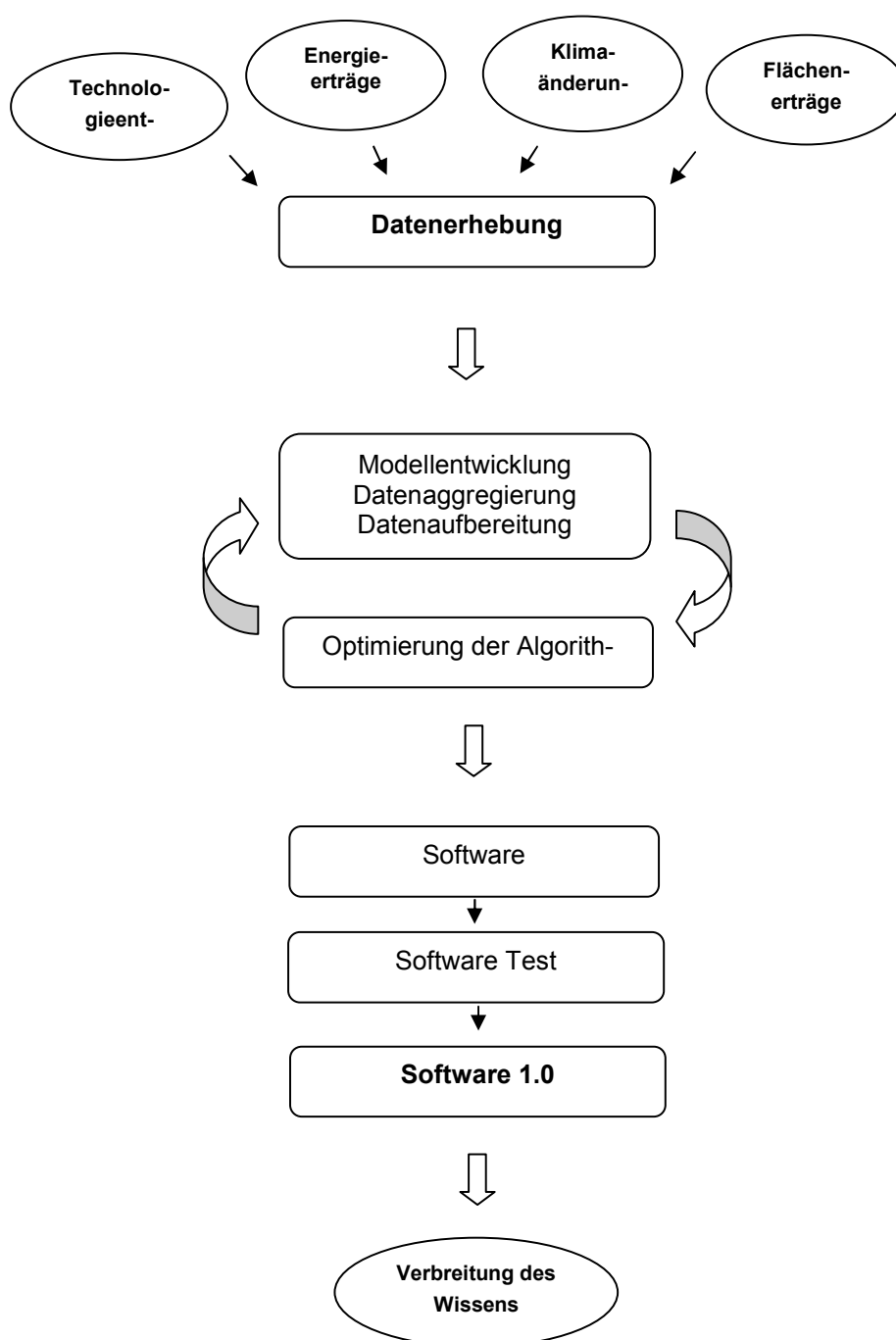


Abbildung 1: Zusammenfassung der Projektstruktur

2.5.1 Management und Kommunikation

Die gesamten Agenden für das Management und die Kommunikation wurde i.A. vom Projektleiter und seinen Mitarbeitern (ein bis zwei Personen) unter Beihilfe eines fachlich kompetenten Beirates (eine Person) und entsprechender Fachexpertise aus dem Projektteam bewerkstelligt.

Interne Kommunikation und Projektmanagement

Hauptelemente für das Projektmanagement und die interne Kommunikation waren im Wesentlichen:

- vier Meetings mit dem gesamtem Projektteam
- eine Vielzahl von persönlichen und telefonischen Fachgesprächen und elektronischen Mitteilungen der Projektleitung mit einzelnen Projektpartnern und Mitarbeitern
- sowie Fachgespräche und elektronischer Austausch einzelner Projektpartner und Mitarbeiter untereinander (ohne Projektleitung)

Steuerungsgremium

Das Steuerungsgremium zum Projekt stellte eine wertvolle fachliche Begleitung für das Projekt dar, aber auch eine kritische unabhängige Stelle, welche die Projektumsetzung als gleichsam Außenstehender beurteilen konnte, mit seinen zu erwartenden Ergebnissen, deren Validierung, Darstellung und Dissemination etc. Dem Steuerungskomitee verdankt das Projektteam viele wertvolle Anregungen.

Kick-off-Meeting, 16.1.2009

Das erste Zusammentreffen von Projektteam und Mitarbeitern diente dem Kennenlernen sowie der inhaltlichen und zeitlichen Abstimmung der zu bewältigenden Arbeiten. Außerdem wurden bei diesem Meeting Mitglieder für ein Steering Committee (Steuerungskomitee) ernannt, welches das Projekt fachlich begleitete und das an allen weiteren Meetings teilnahm.

Midterm Meeting, 18.2.2010

Im Rahmen des zweiten Treffens wurde der Projektfortschritt unter den Partnern diskutiert sowie die bisherigen Ergebnisse und Erfahrungen sowie geplante Arbeiten ausgetauscht, fixiert und dem Steering Committee präsentiert. Dieses gab seine Einschätzung über das Erreichte sowie Anregungen zum weiteren Vorgehen ab. Ein Vorschlag war z.B. die Durchführung von Testrechnungen nach Erstellung der OPAL Software mit externen potenziellen Anwendern, um die Eignung und Handhabbarkeit der Software vorab feststellen zu können und einen entsprechenden Informationsrückfluss noch vor Abschluss des Projektes berücksichtigen zu können.

Drittes Treffen, 29.9.2010

Das dritte Zusammentreffen des Teams war inhaltlich und organisatorisch im Wesentlichen wie das zweite angelegt.

Final Meeting, 10.12.2010

Zu Projektende wurde der Endbericht und die Endversion der OPAL Software dem Steering Committee und geladenen Gästen aus dem Zielpublikum präsentiert.

Externe Kommunikation mit der Förderstelle FFG

Das Projekt wurde im September 2007/Februar 2008 von der Uni Wien, Institut für Risikoforschung (IRF) eingereicht und bekam am 23. April 2008 den Zuschlag. Der unterschriebene Vertrag konnte der FFG erst am 9. Dezember 2008 übermittelt werden. Die eigentlichen Projektarbeiten wurden somit erst Anfang 2009 aufgenommen.

Um die geplante Projektdauer von zwei Jahren nutzen zu können, wurde bei der FFG vorab um Fristerstreckung für das Projekt bis Ende 2010 angesucht, welcher am 21.4.2009 stattgegeben wurde.

Seit 1. Juli 2009 zeichnet die BOKU Wien als Projektträger für das Projekt OPAL, da das Institut für Risikoforschung von der UNI Wien an die BOKU transferiert worden war, und dort unter dem Namen „Institut für Sicherheits- und Risikowissenschaften“ seine Tätigkeit weiterführt.

Am 30.12.2009 wurde der OPAL Zwischenbericht an die FFG übermittelt.

Externe Kommunikation mit Interessenten am Projekt

Die externe Kommunikation mit dem Zielpublikum begann im Frühjahr 2010 in Form der Webseite <http://www.risk.boku.ac.at/OPAL>, auf der Inhalte und Ziele des Projektes OPAL sowie Vorträge und Posterpräsentationen präsentiert wurden.

2.5.2 Modellentwicklung und Datenbasis

Eine Modellentwicklung und -bereitstellung erfolgte in folgenden Bereichen:

- Modellierung und Programmierung des zentralen Elementes der OPAL Software, nämlich das OPAL Rechenprogrammes zur betriebswirtschaftlichen Berechnung und Bewertung von Biogasanlagen auf Basis des Programms pro biogas (Schneider 2003).
- Spezifizierung und Bereitstellung der Input Schnittstellen des OPAL Rechenprogrammes für die Implementierung der Ergebnisse der agrarmeteorologischen Programmsysteme DSSAT (Zwischenfruchtmodellierung für den Acker) und GRAM (Grasmodellierung für das Grünland).
- Spezifizierung und Bereitstellung der Output Schnittstellen des OPAL Rechenprogrammes zur Weiterführung der Betriebswirtschaftsberechnung zu Berechnun-

gen mit dem Programm GEMIS (Treibhausgas/Schadstoffbilanzierung) und NACHHALT (Qualitative Nachhaltigkeitsbewertung)

- Entwicklung von Ab-/Zuschlagsalgorithmen auf Basis von Expertenmeinung und konkreten Trockenmasse – Ernteertragsmessungen für Zwischenfrucht – Energiepflanzen - Trockenmasseerträge vom Feld und für Gras - Biogaserträge vom Grünland

Datenerhebungen erfolgten sowohl bezüglich Ertragsdaten im Energiepflanzen - Zwischenfruchtanbau als auch bezüglich solcher im Grünlandbereich zur Komplettierung der vorhandenen Datenbasis und zur Kalibrierung der eingesetzten Modelle.

Ein Vergleich der Übereinstimmung zwischen gemessenen Ernteerträgen und zwei Arten rechnerischer Modelle wurde vorgenommen. Diese Modelle sind:

- dynamische Wachstumsmodelle, die vermehrt in den letzten Jahren für einige Pflanzen wie Mais und Wiesengras ausgearbeitet werden, und
- Modelle auf Basis der Modellierung agrarmeteorologischer Daten

Anstatt der ursprünglich im Projektantrag vorgesehene Ermittlung der Erträge aus Acker und Grünland auf Basis dynamischer Wachstumsmodelle wurde nach einem Vergleich der beiden oben angeführten Methoden vom verantwortlichen Projektpartner Institut für Meteorologie an der Universität in Rücksprache mit der Universität für Bodenkultur und der Bundesanstalt Raumberg-Gumpenstein für das Grünland die Methode der agrarmeteorologischen Modellierung von Ertragsdaten verwendet. Dynamische Wachstumsmodelle sind für den Einsatzzweck im Grünland noch nicht ausreichend verlässlich und bedürfen noch vieler umfangreicher Messreihen unter verschiedensten Wachstumsbedingungen, bis eine zufriedenstellende Validierung erfolgen kann. Die Methode der empirischen Adaptierung statistischer Ertragsdaten, die agrarmeteorologisch modellierbar sind, bot hingegen eine geeignete Ertragsdatenbasis für das Projekt OPAL. Außerdem ist diese Datenbasis durch weitere Zeitreihen Früchte/Mischungen ohne großen Aufwand beliebig erweiterbar, während dynamische Wachstumsmodelle auch mittelfristig nur für eine sehr beschränkte Anzahl von Kulturen verfügbar sein werden.

2.5.3 Historische Entwicklung der Datenbasis für den Energiepflanzen - Zwischenfruchtanbau sowie für energetische Grünlandnutzung

Die folgenden Informationen entstammen primär Quellen, die durch Internetrecherche gefunden worden waren. Wichtige Informationen – wie die Anfänge des Zwischenfruchtanbaus für die Biogaserzeugung - ergaben sich auch aus persönlichen Mitteilungen von Personen, welche dem Auftragnehmer namentlich bekannt waren.

Die Recherche bezog sich in erster Linie auf Österreich und Deutschland. Die jeweiligen Ergebnisse der Recherche sind länderspezifisch zusammengestellt.

2.5.3.1 Situation in Österreich

Die praktischen Anfänge des Zwischenfruchtanbaus und der Grasnutzung für Biogas in Österreich und auch in Deutschland (Graskraft 2000) gehen auf Josef Friedl, Gerhard Eigner und Walter Graf und deren Arbeiten zum Projekt GRASKRAFT im Burgenland zurück (TU 2000). Für ihre Arbeiten wurde ihnen diverse Preise verliehen: Solarpreis (PRIEDL et al. 2000), der Neptun Wasserpreis (PRIEDL et al. 2001), der Wasser-schutzpreis 2005 (Graf et al. 2005).

Die ersten Praxiserfahrungen sind auch in den Büchern „Kraftwerk Wiese“ (Graf 1999, 2001), und „Kraftstoff Biogas“ (Graf 2007) von Walter Graf, sowie in (Priedl 2001) und den persönlichen Mitteilungen von Josef Friedl an die OPAL Projektleitung (Priedl 2010) dokumentiert.

Weitere wesentliche Beiträge lieferte das Projekt der Graskraft Reitbach e.V., wo auf 700m Seehöhe von einer kleinen Genossenschaft seit 2004 Monovergärung von Wiesengras erfolgt. Neben pflanzenbaulichen Optimierungsmaßnahmen wird dort seit 2007 eine Kraft-Wärme-Treibstoff-Koppelung samt Tankstelle betrieben und das ins öffentliche Erdgasnetz eingespeiste Biomethan virtuell mittels Zertifikaten gehandelt. Das ursprüngliche Projekt hat im Jahr 2006 den Energy Globe Award erhalten, das erweiterte Biomethan-Projekt den Landesenergiepreis Salzburg 2008, den Energy Globe Award 2008, sowie den Staatspreis Verkehr 08. (Stiegler 2010a)

An der Universität für Bodenkultur Wien lieferte das Institut für Landtechnik im Jahr 2004 eine sehr wertvolle Arbeit zur Optimierung der Methanerzeugung aus verschiedenen Energiepflanzen (Amon 2006). Neben den bislang üblichen Sorten wie Mais, Sonnenblume und Getreide (Weizen, Roggen Triticale) wurde auch Wiesengras auf seine Eignung für Biogaserzeugung untersucht und ausführlich beschrieben.

Im angeführten Projekt wurden „erste Vorschläge für standortangepasste biologische und konventionelle Fruchtfolgesysteme unter der Einbeziehung von Möglichkeiten des Energiepflanzenanbaues als Haupt- und Zwischenfrüchte entwickelt“.

In Ermangelung geeigneter Daten wurden jedoch für alle Zwischenfrüchte, die untersucht wurden, in der Literatur vorliegende Methanhektarerträge für Klee gras angenommen.

Weiters waren offensichtlich Daten zum Zwischenfruchtanbau nur aus biologischem Landbau verfügbar (ibid. S.61) (ibid. Tabellen S.102f), da der Anbau derselben dort bereits seinen speziellen Platz in der Fruchtfolge allein zur Bodenverbesserung hatte aber nicht zur energetischen Verwertung. Dabei waren die Sorten limitiert auf Leguminosen, Rotklee, Nicht-Leguminosen und Futterroggen.

Weitere wesentliche Aussagen der Arbeit waren (ibid. S.59), dass laut Berechnungen von Walla und Schneeberger (Walla et al. 2005) "eine Bergung und Vergärung von Stroh wegen der niedrigen Methanhektarerträge nicht wirtschaftlich ist. Bei den Zwischenfrüchten gilt dasselbe. Auch hier war bei den unterstellten Erträgen und Kosten im ökologischen Landbau die Vergärung nicht wirtschaftlich. Im konventionellen Landbau wurde von den gleichen Annahmen ausgegangen".

Walla et al. vermerken aber auch (Walla et al. 2005): "bei niedrigeren Kosten für die Rohstofferte, den Transport und die Ausbringung der Gülle können allerdings auch die Zwischenfrüchte ein wirtschaftlicher Rohstoff sein, vor allem im Falle der Arbeitserledigung mit eigenen Maschinen von Feldern in der Nähe der Biogasanlage".

Laut Handler (Handler 2010) wurde vom konventionellen Landbau in Zwischenfrüchten 2003 aufgrund des damaligen wesentlich niedrigeren Rohstoffpreisüberschusses und bestehender Mengenüberschüsse der Agrarproduktion kein kurzfristig nutzbares Potenzial für Biogaserzeugung gesehen.

Im Jahr 2008 führte ein Team um Walter Graf neue Feldversuche mit Energiefrüchten am Acker im Zwischenfruchtanbau durch (Raser et al. 2009). "Auf einer Agrarfläche von 13,4 ha wurden zu der Hauptkultur – Verwendung als Nahrungsmittel – Zwischenfruchtkulturen angepflanzt. Dabei wurde erhoben, welche Energiefrüchte sich in der Region Auland Carnuntum optimal einsetzen lassen. Aus den Erfahrungen und Einschätzungen von Landwirten und Experten (Saatbaufirmen) wurden 12 Anbaumischungen ausgewählt. Die 3 Kulturen mit dem besten Biomasseertrag wurden in Gärversuchen auf Biogasquantität und -qualität untersucht", (Amon et al. 2009).

Zusammengefasst zeigt sich, dass eine systematische Untersuchung zum Thema: Energiefrüchte am Acker im Zwischenfruchtanbau für die Biogaserzeugung in Österreich im Jahr 2008 begonnen hat. Das erste Projekt (Raser et al. 2009) ergab eine wichtige und viel versprechende Orientierungshilfe für das Folgeprojekt „Energiefrüchte am Acker – Feldversuch“ (Siegl et al. 2010), deren Ergebnisse Ausgangsbasis für das Projekt OPAL wurden.

2.5.3.2 Situation in Deutschland

Zwischenfruchtanbau

Wie in Österreich ist in Deutschland der Zwischenfruchtanbau als Futterbau ein bekanntes eingeführtes System, das allerdings vor allem durch den Kraftfutterbau als Hauptfrucht in Zeiten kostengünstigen Mineraldüngers besonders in der konventionellen Landwirtschaft Bedeutung verlorenen hat.

Im biologischen Landbau, in dem keine Stickstoffgabe aus Mineraldüngern zulässig ist, ist hingegen der Zwischenfruchtanbau nach wie vor ein bewährtes System zur Bodenverbesserung. Es scheint, dass über diese Schiene - nämlich den biologischen Land-

bau, der erkannt hat, dass die Biogasbewirtschaftung ein neuer nachhaltiger Impuls in der Landwirtschaft sein kann - der Zwischenfruchtanbau zur Biogaserzeugung sowohl dem Boden als auch dem Landwirt zugute kommt.

Die Initialisierung des Zwischenfruchtanbaus und der Grasnutzung für Biogas erfolgte in Deutschland offenbar im Jahr 2000 (Graskraft 2000).

Der Energiepflanzenanbau zählt in Deutschland seit etwa 2005 zu den Schwerpunktthemen der FNR (Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe, sie ist Projektträger des deutschen Bundeslandwirtschaftsministeriums). Dazu förderte sie im Jahr 2006 rund 20 Vorhaben mit über 8 Mio. €.

In sechs Teilprojekten wurden drei Jahre lang Energiepflanzen untersucht.

Ein Projekt widmete sich dem Anbau verschiedener Fruchtfolgen an sieben Standorten Deutschlands. Als (Sommer-)Zwischenfrucht wurden 2005/2006 Ölrettich und Futterroggen, 2006/2007 Buchweizen und 2007/2008 Zuckerhirse und Weidelgras untersucht (TLL 2008).

In einem anderen Projekt der Uni Kassel wurden Zweikultursysteme (Erstkultur und Zweitkultur) für den Energiepflanzenanbau sowie Haupt- und Zwischenfruchtanbau getestet. Als Zwischenfrüchte wurde Senf angebaut, welcher der Gründüngung diente. Zwischenfrüchte für eine Biogaserzeugung wurden in den Projekten offenbar nicht untersucht.

Im Jahr 2008 gab Aigner eine „Einschätzung von Zwischenfrüchten als Substrat zur Biogasgewinnung“ (Aigner et al. 2008).

Darin sind Ergebnisse für Trockenmasseerträge und Gaserträge aus mehrjährigen und mehrortigen systematischen Versuchen zum Anbau von Zwischenfrüchten der Bayerischen Landesanstalt für Landwirtschaft vorgestellt. Es wurde darauf verwiesen, dass „unabhängig vom Verwendungszweck der Zwischenfrüchte die allgemeinen Anbauempfehlungen der LfL zugrunde zu legen sind“.

Im Speziellen betreffen die Ausführungen von Aigner Arten- und Sortenvergleiche bei früher Saatzeit im Juli (nach Wintergerste) an vier Standorten in Bayern in den Jahren 1995 bis 1997. Im Zwischenfruchtanbau zur Futternutzung wurden einjähriges Weidelgras, Alexandrinerklee und Mischungen (Weidelgras/Saatwicke, Weidelgras/Alexandrinerklee) geprüft. Die erreichten Trockenmasseerträge lagen im Mittel bei 31,5 dt/ha entsprechend ca. 750 m³ CH₄/ha.

Des Weiteren wurde über Arten- und Sortenvergleich bei mittlerer Saatzeit im August (nach Winterweizen) an vier Standorten von 1995 bis 1997 berichtet, wobei Sommeraps, Winterraps, Ölrettich, Senf und Phazelia geprüft wurden.

Ergebnisse: Erreichte Trockenmasseerträge im Mittel 31,4 dt/ha keine Werte vorhanden in m³ CH₄/ha.

Aigner untersuchte auch den Einfluss einer Verdoppelung der Düngung von 40 kg/ha auf 80 kg/ha mit dem Ergebnis des Anstiegs des TM Gehaltes um 15%

Außerdem fand eine Überprüfung des Einflusses von Anbauzeitpunkten statt.

Während der Zwischenfruchtanbau in Deutschland 2003 primär auf die Futtergewinnung ausgerichtet war, beginnen erst in den Jahren danach die Untersuchungen zur Ermittlung der Voraussetzungen für Stoppelsaat von Zwischenfrüchten zur Erzeugung von Biomasse für Biogasanlagen.

Es wurden produktionstechnische Daten des Sommerzwischenfruchtanbaues ermittelt und Kreuzblütler zur Erzeugung von Biomasse für Biogasanlagen getestet, die Saatzeit nach Wintergerste und die Ernte Oktober durchgeführt. Die N-Düngung betrug 80 kg/ha bis 120 kg/ha.

Der Einfluss von Saatzeit und Sorte auf den Trockenmasseertrag von Kreuzblütlern wurde ermittelt und die Methangehalte und Erträge verschiedener Zwischenfrüchte im Vergleich zum Mais (Entrup et al. 2008) erhoben.

Im Lauf der Jahre wird eine gewisse Systematik der Untersuchungen bezüglich der Einflüsse beim Zwischenfruchtanbau deutlich.

Es wurde die Beziehung zwischen dem Saattermin der Zwischenfrüchte für Biogas und dem Trockenmasseertrag 2008 und 2009, dem Stickstoff- Phosphat und Kalientzug, dem Methangasertrag und dem theoretischen Stromerlös anhand der Ergebnisse einer Ernteabfrage im Münsterland ermittelt (Forschungsprojekt BIORES in Ludger 2009).

Seit 2007 führt Koch Gras und Zwischenfruchtversuche in Deutschland durch (Wiegand 2010)

Im Jahr 2008 berichtet Koch (Koch 2008) über die positiven Einflüsse des Zwischenfruchtanbaus für Biogasanlagen auf Boden, Grundwasser, Pflanze und Atmosphäre sowie den Mehrwert für den Landwirt und über entsprechende Aktivitäten in Bayern mit ihren Herausforderungen.

Auch in Nordrhein-Westfalen wird der Anbau von Zwischenfrüchten als eine Lösung für die Erzeugung von Biomasse für die Biogasproduktion erkannt (Berendonk 2007). Zitat: "Der Erfolg des Zwischenfruchtanbaus ist allerdings in besonderem Maße witterungsabhängig. Frühe Hauptfruchternte und günstige Witterungsbedingungen zur Saatzeit fördern den Anbau".

Bislang beschränkte sich die Verwendung von Zwischenfrüchten für die Biogasproduktion in der Praxis meist auf den Anbau von Grünroggen zur Nutzung als Winterzwischenfrucht vor Silomais. Das Potenzial der Sommerzwischenfrüchte wurde bislang jedoch nicht genutzt.

Gras

Die GRASKRAFT e.V., der deutsche Verein zur ökologischen Verwertung von Biomasse und Sicherung der Trinkwasserressourcen hat frühzeitig auf Anregung von W. Graf und J. Priedl aus Österreich die energetische Nutzung von Wiesen gras als auch die von Sudangras, das auf Ackerflächen angebaut wurde, aufgegriffen und gefördert (Graskraft 2000 und Graskraft 2003).

Heute ist Gras für Biogas in Deutschland allgemein bekannt und wird an verschiedenen Orten genutzt. Samenzüchter geben derzeit eine große Auswahl an leistungsfähigen Gräsern an, die für Biogasanlagen sehr interessante Nährstofflieferanten sind. Die Auswahl ist für unterschiedliche Standorte, Klimaverhältnisse und Anbaustrategien spezifiziert. (Freudenberger 2010).

In Norddeutschland war und ist es Jens Geveke aus Westerstede, der seit Jahren eine mit dem Futterbau verträgliche energetische Flächennutzung im Grünland durchführt (Geveke 2008).

Zusammenfassend kann gesagt werden, dass bereits um 2000 eine Initialisierung des Zwischenfruchtanbaus und der Grünlandnutzung zu Energiezwecken durch Pioniere für die Biogaserzeugung stattfand, dass aber i.A. erst ab 2006-2008 eine allgemeine und intensivere wissenschaftliche und praktische Auseinandersetzung mit dem Thema begann. Somit stehen wir heute eigentlich in einer ersten Phase einer systematischen Bearbeitung des Sommer-Zwischenfruchtanbaus für die Biogaserzeugung, der noch weitere folgen sollten, um das Thema umfassender – z.B. hinsichtlich Synergien - zu behandeln und um stabile mehrjährige Zeitreihen zu erhalten.

2.5.4 Berücksichtigung von Zwischenfruchtanbau sowie energetischer Grünlandnutzung

Das Projekt OPAL baut auf den Anfängen, der Entwicklung sowie der gewonnenen Erfahrung aus dem Zwischenfruchtanbau und der Grünlandnutzung auf und entwickelt diese weiter.

Dabei ist es Ziel des Projektes OPAL, optimierte Bioenergie-Potenziale im speziellen für Biogas aus landwirtschaftlicher Produktion aufzuzeigen, wo es möglich ist, durch Ertragsdaten zu belegen und wo noch keine solchen Messdaten vorliegen, belastbare Aussagen über erwartbare Erntemengen zu generieren.

Derartige Potenziale ergeben sich auf Ackerflächen durch die Aussaat einer Zwischenfruchtmischung nach Getreide innerhalb einer Vegetationsperiode nach früh feldräumender Hauptfrucht, damit die Zwischenfrucht noch mindestens 90 Tage Vegetationsdauer zur Verfügung hat. Die Zwischenfrucht stellt dabei eine Mischung unterschiedlicher Kulturpflanzen dar.

Ein derartiges agrarisches Bewirtschaftungsverfahren ist jedoch nur unter Einhaltung bestimmter Voraussetzungen Erfolg versprechend:

- Standort: Der Standort muss von seinen klimatischen Bedingungen her eine ausreichend lange Vegetationsperiode zulassen, damit Haupt- und Zwischenfrucht genügend Zeit haben, um qualitativ und quantitativ befriedigende Ergebnisse zu liefern.
- Klima bzw. Seehöhe: Im Wesentlichen sind diese Bedingungen in unseren Breiten durch die Seehöhe bestimmt, jedoch können auch lokale Gegebenheiten eine Rolle spielen wie z.B. die Hangneigung und Ausrichtung und deren Einfluss auf Einstrahlung auf den Boden, die Bodenbeschaffenheit, der Wasserhaushalt, die Hauptwindrichtung und die Windfrequenz.
- Landwirtschaftliches Fachwissen.

Vom Landwirt beeinflussbare Faktoren sind:

- Zeitpunkt von Aussaat und Ernte – Brachezeiten sollen möglichst kurz gehalten werden, um nachteilige Effekte offener Ackerflächen zu minimieren
- Zeitpunkt und Art der Bodenbearbeitung
- Düngemanagement und optimale Energiepflanzenauswahl- und -mischung zur Sicherstellung einer positiven Humusbilanz einerseits und einer guten Fermentation andererseits
- Wahl der Fruchtfolgen über mehrere Vegetationsperioden

In die auf Zwischenfrüchte bezogenen Teile des Projekts OPAL fließen primär neueste österreichische Messwerte für agrarische Zwischenfruchterträge aus dem Jahr 2009 (zwei Standorte in Niederösterreich und ein Standort in Oberösterreich mit einer Gesamtfläche von 120 ha) nach Getreide ein, die mit einem agrarmeteorologischen Tool zum flächendeckenden Einsatz in ganz Österreich modelliert wurden.

Zu Vergleichszwecken wurden auch Zwischenfrucht-Ertragsdaten aus Bayern (Koch 2008) für das Projekt OPAL verwendet.

Die Ertragsdaten der BLT Wieselburg für Österreich (Handler et al. 2005), die als Datengrundlage für das Projekt OPAL gedacht waren, wurden auf ihre Anwendbarkeit analysiert (Kalt et al. 2009). Infolge nicht erfassbarer expliziter Ertragsdaten für Zwischenfrucht und wegen nicht dokumentierter agrarmeteorologischer Informationen, die für eine agrarmeteorologische Modellierung erforderlich wären, konnten diese Daten nicht als primäre Grundlage im Projekt OPAL herangezogen werden, sehr wohl aber die entsprechenden Flächennutzungen (siehe unten).

Zusätzlich wurden ca. 300 ausgewählte und auf Plausibilität getestete Ernteertragsdaten herkömmlicher Biogassubstrate (ohne Zwischenfrüchte, ohne agrarmeteorologische Modellierung) aus Österreich, Deutschland und Tschechien in der OPAL-

Software verarbeitet (Schneider 2003). Die OPAL-Software kann nicht nur die Wirtschaftlichkeit von Biogasanlagen, die ausschließlich Zwischenfrüchte verarbeitet, ermitteln, sondern generell die Wirtschaftlichkeit aller Arten von Biogaserzeugung in Österreich.

Die auf der INVEKOS Datenbank basierenden Daten der BLT Wieselburg zur agrarischen Flächennutzung in Österreich stellen eine gute Grundlage für die relevanten Getreideflächen nach Kleinproduktionsgebieten (KPG) dar. Die im Projekt OPAL interessierenden Ackerflächen in Österreich sind im Anhang auf Basis der Kleinproduktionsgebiete angegeben. Sie betragen in Summe ca. 600.000 ha.

Grünlandbewirtschaftung

Zur agrarmeteorologischen Modellierung von Grünlanderträgen in Österreich wurden Daten von der LFZ Raumberg-Gumpenstein herangezogen (Datenbasis in Trnka et al. 2006). Die Erträge basieren auf einem 3-Schnitt-Regime. Ein abweichendes Schnittregime wird durch einen Ab/Zuschlagsalgorithmus für Grünlanderträge berücksichtigt.

Die im Projekt OPAL interessierenden Grünlandflächen in Österreich sind im Anhang auf Basis der Kleinproduktionsgebiete angegeben. Sie betragen in Summe ca. 1.440.000 ha und dienen primär der Milchwirtschaft bzw. Futterbereitstellung.

2.5.5 Datenerhebung

2.5.5.1 Flächenenerträge für Energiepflanzen im Zwischenfruchtanbau

Im Rahmen des Projektes „Folgeprojekt Energiefrüchte am Acker – Feldversuch“, erarbeitet durch den Energiepark Bruck/Leitha (Siegl et al. 2010), wurden von 33 Landwirten in den drei österreichischen Gebieten Margarethen/Moos, Hollern und in mehreren Bezirken in Oberösterreich auf insgesamt 150 ha Ackerfläche 19 unterschiedliche Zwischenfruchtmischungen angebaut und auf ihren Trockenmasse- und Methanertrag untersucht.

Hierzu wurden die Früchte mit den vorhandenen Maschinen geerntet und gehäckselt, der Methanertrag aus dem Häckselgut wurde an der Universität für Bodenkultur vom Institut für Landtechnik unter der Leitung von Thomas Amon (Amon et al. 2010) untersucht.

Folgende potenziell ertragsrelevante Daten wurden zusätzlich dokumentiert:

- Bodenpunkte
- Hauptfrucht Art und Sorte
- Hauptfrucht Erntezeitpunkt
- Hauptfrucht Ertrag
- Bodenbearbeitungsart nach Hauptfrucht Ernte

- Bodenbearbeitungstiefe
- Bodenbearbeitungszeitpunkt
- Strohmanagement
- Zwischenfrucht Art und Sorte
- Zwischenfrucht Aussaatgerät
- Zwischenfrucht Aussaatzeitpunkt
- Zwischenfrucht Saatstärke
- Zwischenfrucht Düngzeitpunkt
- Gülle-Stickstoffmenge
- Düngung in Zwischenfrucht Bestandshöhe
- Zwischenfrucht Erntezeitpunkt
- Zwischenfrucht Erntetechnik
- Zwischenfrucht TM Ertrag
- Zwischenfrucht Trockensubstanzgehalt
- Zwischenfrucht organischer Trockensubstanzgehalt
- Silagequalität der untersuchten Zwischenfruchtproben
- Inhaltsstoffe (Elementaranalyse) der untersuchten Zwischenfruchtsilagen
- Spezifischer Biogas- und Methanertrag der untersuchten Zwischenfruchtvarianten
- Nährstoffgehalte im Substrat und im Gärrest

Aus den so erhobenen Ertragsdaten wurden Referenzerträge für diese Zwischenfruchtmischungen in Abhängigkeit von weiteren Parametern bestimmt. Siehe dazu Abschnitt 2.5.7.

Für die Erträge im Grünlandbereich wurden Messungen des LFZ Raumberg – Gumpenstein (Trnka et al. 2006) agrarmeteorologisch für Österreich modelliert. Mit der Unterstützung von Karl Buchgraber und Bernhard Schneider erfolgte eine Bewertung der Erträge und die Erstellung eines Ab-/Zuschlagsalgorithmus für die entsprechenden Biogaserträge zur Berücksichtigung der Art und Weise der Grünlandbewirtschaftung.

2.5.5.2 Meteorologische Datengrundlagen

Die Biomasseertragsmodelle wurden für alle landwirtschaftlichen Nutzflächen in allen Klimaregionen Österreichs angewendet. Hierfür standen einerseits monatliche Klimadatensätze betreffend Niederschlag und Temperatur für den Zeitraum 1961-1990 mit einem Auflösungsraaster von 1x1 km für ganz Österreich (Kling et al. 2005) zur Verfügung. Andererseits wurden an ausgesuchten Versuchsstandorten (siehe unten) Beo-

bachtungen von meteorologischen Stationen der Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik (ZAMG) mit täglicher Auflösung verwendet.

Einteilung der Klimagebiete

Die Einteilung in Klimagebiete über das österreichische Bundesgebiet erfolgte nach einer Sensitivitätsanalyse der Biomasseertragsmodelle für Abstufungen der mittleren Lufttemperatur und des Niederschlags. Hierfür wurde bei der Temperatur eine Unterteilung der saisonalen Mitteltemperatur (April bis September) in $\frac{1}{2}$ Grad-Schritten vorgenommen. Die Niederschlagsdifferenzierung erfolgte für die Bodenklassen 2 bis 5 anhand der Niederschlagssumme der Kern-Vegetationsperiode (bzw. der Periode April bis September). Bei der Bodenklasse 1 (sandiger Boden) wurde die Wachstumsperiode (Juli, August und September) doppelt so hoch gewichtet wie der Frühjahrsniederschlag (April, Mai, Juni), um dem geringen Speicherungsvermögen dieser Bodenart gerecht zu werden. Die Differenzierung der Niederschlagssummen erfolgte in 25 mm-Schritten.

Wetterdaten für Biomassesimulationen

Für die Biomassesimulationen wurden die jeweiligen Klimaklassendaten bzw. aus Klimaszenarien abgeleitete Werte betreffend die Zunahme der mittleren Lufttemperatur im Vergleich zu langjährigen Datenreihen verwendet. Die Tagesdaten der Witterung, welche die Modelle als Eingangsdaten benötigen, wurden mit Hilfe eines Wettergenerators erzeugt, wobei jedes Szenario die Tagesdaten von 100 Jahren beinhaltet.

Für die Sensitivitätsanalyse wurden zwei Referenzstationen verwendet, die jeweils den Westen und Osten Österreichs klimatisch repräsentieren: Waizenbach in Oberösterreich sowie Bruck/Leitha im Marchfeld. Der Bezug auf die jeweiligen Referenzstationen soll dabei Unterschiede in der Saisonalität der Lufttemperatur und des Niederschlags abdecken. Dabei ergaben sich aber kaum Unterschiede in den simulierten Biomasseerträgen in der jeweils selben Klimaklasse zwischen den zwei Stationen. Dies rechtfertigt die gewählte Vorgangsweise, Bruck/Leitha bzw. Großenzersdorf als einzige Referenzstation für die endgültigen Biomassesimulationen festzulegen.

Die regionalen mittleren klimatischen Abstufungen sowie die Klimaszenarien wurden schließlich direkt auf die Tagesdaten der Referenzstation Großenzersdorf appliziert und als Datenbasis für alle Simulationen verwendet. Die Wetterstation Großenzersdorf wurde jener von Bruck/Leitha vorgezogen, da diese längere und genauere Zeitreihen aufweist. Als Referenzperiode wurde die Zeitspanne zwischen 1980 und 2009 festgelegt. Mit dem Wettergenerator Met&Roll (Dubrovsky 1997) wurden 100 potentielle Jahre für diese Zeitspanne produziert. Um nun alle Klimabereiche in Österreich heute sowie in Zukunft abzudecken, wurde eine Sensitivitätsanalyse mit folgenden Schritten in allen Kombinationen durchgeführt:

- Temperatur: +5, +4, +3, +2, +1, 0, -1, -2, -3, -4, -5°C
- Niederschlag: 80%, 90%, 100%, 110%, 125%, 150%, 200%, 250%

In Summe ergaben das 8800 simulierte Ertragswerte je Bodenklasse. Diese bilden die Grundlage für eine Regressionsanalyse (siehe Tabelle 1). Als unabhängige Variablen wurde die Niederschlagssumme von April bis September beziehungsweise eine gewichtete Niederschlagssumme $((RR_{(Apr.-Jun.)} + 2 \cdot RR_{(Jul.-Sep.)})/3)$ sowie die mittlere Temperatur während der Vegetationsperiode (Juli bis September), als abhängige Variable wurden die Biomasseerträge gewählt. Für die Ableitung der Regression wurde eine Einteilung der Temperatur in $\frac{1}{2}$ Grad-Schritten bzw. der Niederschlagssummen in 25 mm -Schritten vorgenommen.

Tabelle 1: Regressionsanalysen für jede Bodenklasse

	Max Erträge [kg/ha]		R ²	b1	b2	b3	b4	b5	b6	b7
B. 1	7479	RR gew.	0.826	-0.8903	0.1742	0.0036	-0.0070	-8.37E-06	8.49E-05	5.89E-09
B. 2	8104	RR	0.737	-1.3043	0.2611	0.0018	-0.0129	-2.12E-06	2.05E-04	8.28E-10
B. 3	8402	RR	0.702	-1.8986	0.3656	0.0017	-0.0188	-1.71E-06	3.12E-04	5.72E-10
B. 4	8513	RR	0.625	-2.2874	0.4294	0.0017	-0.0222	-1.82E-06	3.73E-04	6.31E-10
B. 5	8518	RR	0.589	-2.1578	0.4044	0.0019	-0.0206	-2.24E-06	3.42E-04	8.67E-10

B ... Bodenklasse, RR gew. ... gewichtete Niederschlagssumme, RR ... Niederschlagssumme

Bei den Regressionsanalysen zeigten Polynome 3. Ordnung die besten Ergebnisse zur Schätzung des potenziellen Ertrages anhand der Temperatur und des Niederschlages. Die erklärte Varianz (R²) liegt in der Größenordnung von knapp 60% bis über 80%. Je geringer die Wasserspeicherkapazität des Bodens, umso genauer erfolgt die Schätzung des Ertrages aus den Witterungsdaten der aktuellen Vegetationsperiode. In Abbildung 2 ist der Verlauf dieser Funktion (Polynom dritter Ordnung mit zwei Parametern) für den Bodentyp 1 dargestellt.

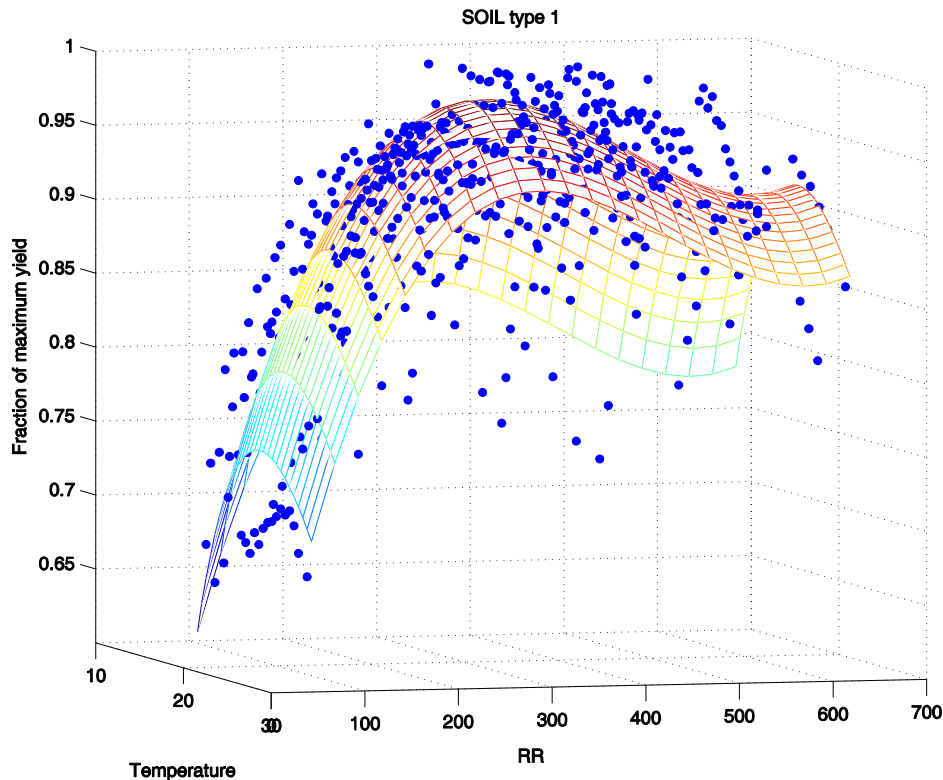


Abbildung 2: Verlauf der Regressionsfunktion zur Schätzung des relativen Ertrages aus dem saisonalen Niederschlag und der Temperatur während der Wachstumsperiode für den Bodentyp 1.

In Abbildung 3 sind die zweidimensionalen Darstellungen dieser Funktionen für die Bodentypen 1 und 4 einander gegenübergestellt. Man erkennt sehr gut, dass beim Bodentyp 1 (links) mit geringer Wasserhaltekapazität bei allen Temperaturbereichen eine Ertragsreduktion erfolgt. Beim Bodentyp 4 mit guter Wasserhaltekapazität müssen neben geringen Niederschlagsmengen auch noch höhere Temperaturen auftreten, damit eine Ertragsreduktion erfolgt.

Sowohl die erzielten Korrelationskoeffizienten als auch der plausible Verlauf der angepassten Regressionsgleichungen erlauben eine Anwendung dieser Methode für die Bestimmung der Ertragsabschläge. Dennoch muss man sich bewusst sein, dass eine alleinige Schätzung des Ertragspotenzials aus saisonalen Werten der Temperatur und des Niederschlages speziell bei tiefgründigen und gut Wasser speichernden Böden nur rund 60 Prozent der modellierten Ertragsschwankungen abbilden können.

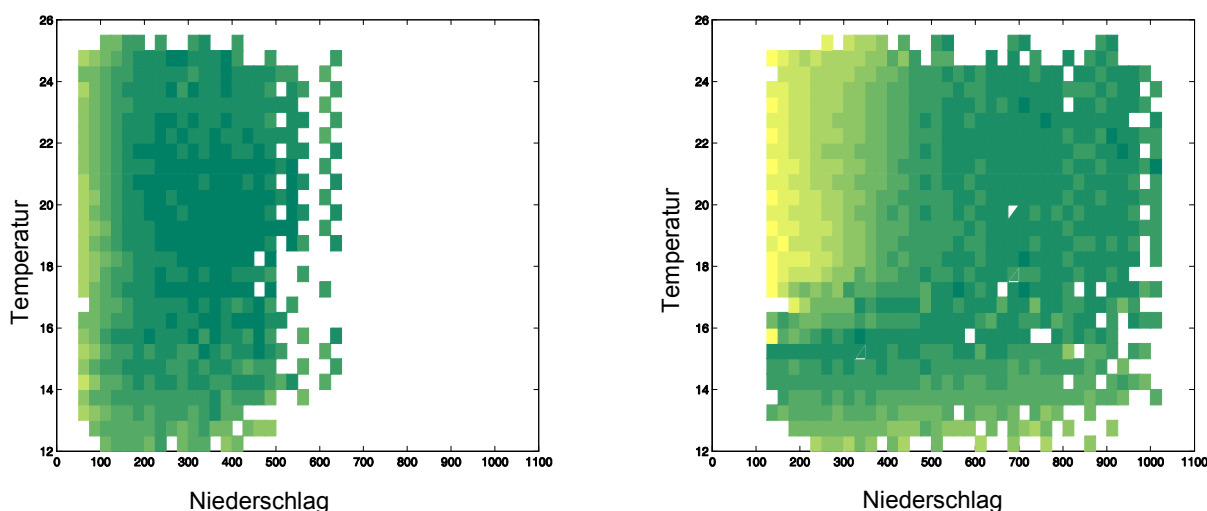


Abbildung 3: Zweidimensionale Darstellung der Regression für den Bodentyp 1 (links) und den Bodentyp 4 (rechts).

2.5.6 Meteorologische Modellentwicklung

Die Simulationen für die Biomassepotenziale für Biogasgewinnung wurden wegen ihrer Relevanz in Österreich für Zwischenfrucht nach Hauptfrucht (als Getreidemischung) und für Dauergrünland (4-Schnittsystem) durchgeführt.

Die gleichzeitige Untersuchung der vielfältigen, die landwirtschaftliche Produktion bestimmenden Faktoren ist in der Regel wegen sehr hoher Kosten aufwändiger Experimente nicht leistbar. Durch die schrittweise Aufklärung einzelner Prozesse und ihrer steuernden Einflüsse lassen sich jedoch Modelle formulieren, die auf der Basis dieser funktionellen Beziehungen zwischen Umweltbedingungen und einzelnen Prozessen entsprechende mathematische Gleichungssysteme formulieren.

Modelle stellen, so komplex sie auch sein mögen, immer nur eine Vereinfachung der Realität dar. Wenngleich nicht perfekt, stellen sie oft jedoch die einzige Möglichkeit dar, die sehr komplexen Zusammenhänge und Wechselwirkungen darzustellen. Für die Landwirtschaft besonders interessant sind dabei die Agrar- oder Forstökosystemmodelle, die versuchen, die verschiedenen Prozesse im System Boden-Pflanze-Atmosphäre abzubilden.

2.5.6.1 Biomasseertragsmodell für Zwischenfrüchte

Zur Abschätzung des potenziellen Biomasseertrags für Zwischenfrüchte wurde ein prozessorientiertes Wachstumsmodell für Getreidemischungen kalibriert und angewendet. Die Kalibrierung erfolgte mit einjährigen Feldversuchsdaten (2009) von Enzersdorf mit der Wetterstation Bruck/Leitha und Gallsbach (Wetterstation Waizenkirchen).

Die endgültigen Simulationen erfolgten dabei für die jeweiligen Klimaklassen und für jede Klimaklasse für 4 unterschiedliche Bodenklassen, welche die in der Realität vorkommenden Bereiche der Bodenwasserspeicherkapazität abdecken. Weitere Annah-

men der Simulation sind optimale Nährstoffversorgung und Bestandesführung und -entwicklung. Als weitere Fixgröße wurden 3 fixierte Anbautermine im Juli bzw. August und jeweils die Vorfrucht Winterweizen simuliert. Alle davon abweichenden Produktionsbedingungen wurden durch Zu- und Abschlagsalgorithmen durch Experteneinschätzungen berücksichtigt.

Aus den zahlreich verfügbaren Modellen wurde für dieses Projekt das dynamische Pflanzenwachstumsmodell CERES/DSSAT (siehe Abbildung 4) ausgewählt. Dieses Modell ist in der Lage Berechnungen in einer großen zeitlichen Skala von Jahren bis Jahrhunderten durchzuführen und ist somit für langfristige Klimawandelstudien sehr gut geeignet. Nach Jones (Jones 1993) ermöglicht DSSAT dem Benutzer

- Daten zur Genetik von Nutzpflanzen, Bodenbeschaffenheit sowie Wetter einzugeben und zu speichern,
- Daten abzurufen, zu analysieren und darzustellen,
- Pflanzenwachstumsmodelle zu kalibrieren und zu evaluieren,
- Managementalternativen an einem bestimmten Standort zu prüfen.

Das Modell benötigt ein Minimum an Eingabedaten wie:

- Lagebeschreibung: geographische Koordinaten, Seehöhe, Ausrichtung, Neigung, Jahresmitteltemperatur, Jahresamplitude der Temperatur, etc.
- Meteorologische Daten auf Tagesbasis: Globalstrahlung, Temperaturmaximum und -minimum, Niederschlag
- Bodenprofile: physikalische und chemische Zusammensetzung des Bodens
- Management: Datum der Saat, Bewässerung, Düngung, Pflanzendichte und Reihenabstand etc.
- genetische Parameter (Sorte): Ertragspotenzial, Reifegruppe etc.

Als Ausgabedaten erhält man eine Reihe von Informationen wie z. B. Blüte- und Reifezeitpunkt, Ertrag, aktuelle Evaporation, Transpiration sowie Evapotranspiration, Oberflächenabfluss, Drainage, Wassernutzungseffizienz der Pflanze und des Bestands, Transpirationskoeffizient, Trockenstressfaktor des Wachstums und Photosynthese, potentielle Evapotranspiration etc.

Anwendung von Ertragssimulationsmodellen (DSSAT):

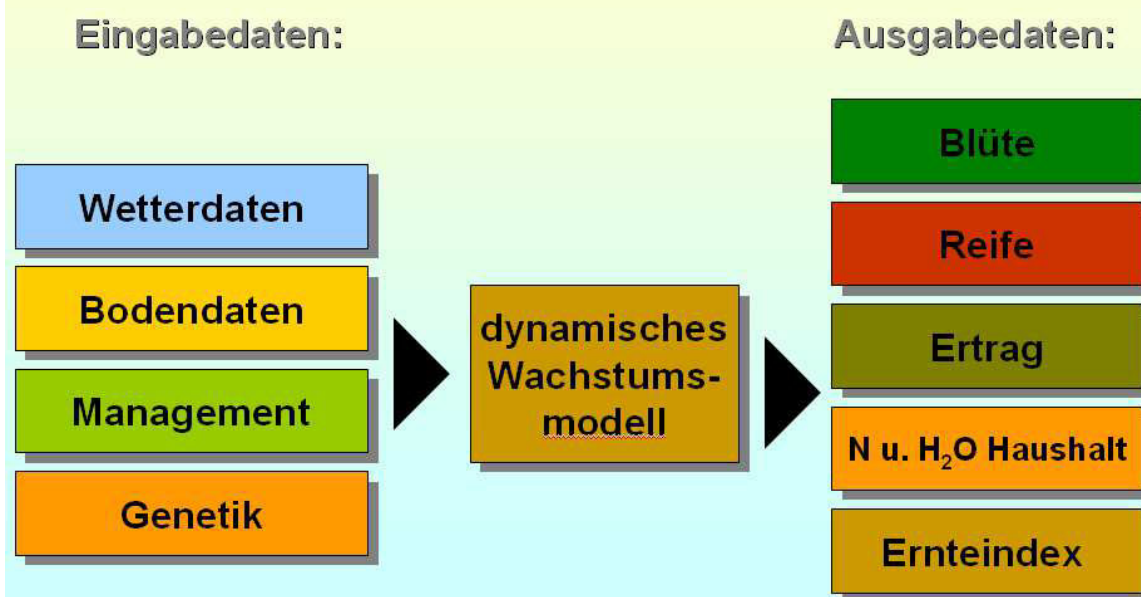


Abbildung 4: Die DSSAT Ertragssimulationsmodelle (Ein- und Ausgabeparameter)

Zu den verwendeten Bodenklassen in der Simulation

Da die österreichische Bodenkartierung (Bundesanstalt für Bodenkultur 1995) für landwirtschaftliche Nutzflächen über 300 verschiedene Bodenformen unterscheidet, war eine Klassifizierung notwendig. 5 Bodengruppen wurden mit Hilfe der nutzbaren Feldkapazität des effektiven Wurzelraums (Tiefe bis zu 1 m) gebildet, wobei die Klassengrenzen nach (AG Boden 1996) festgelegt wurden (Tabelle 2). Die nutzbare Feldkapazität des effektiven Wurzelraums ist für die Pflanzenentwicklung wesentlich: er determiniert größtenteils die Wasserverfügbarkeit für die Nutzpflanzen, und damit auch die Aufnahme der gelösten Nährstoffe.

Tabelle 2: Klassengrenzen entsprechend der nutzbaren Feldkapazität des effektiven Wurzelraums (AG Boden 1996)

Klassen	sehr gering	gering	mittel	hoch	sehr hoch
nutzbare Feldkapazität (mm)	< 60	60-140	140-220	220-300	> 300
Tiefe bis zu 1 m					

Die landwirtschaftliche Nutzfläche in Österreich beträgt ungefähr 27.000 km² und wurde folgendermaßen klassifiziert:

Klasse 1: Fläche: 196 km² (0,7% der landwirtschaftlichen Nutzfläche in Österreich); sehr geringe nutzbare Feldkapazität; Bodenmächtigkeit: 30 cm; die landwirtschaftliche Nutzung ist unbedeutend

Klasse 2: Fläche: 2372 km² (8,8%); geringe nutzbare Feldkapazität; Bodenmächtigkeit: 50-60 cm; geringwertige Ackerflächen

Klasse 3: Fläche: 14765 km² (54,8%); mittlere nutzbare Feldkapazität; Bodenmächtigkeit: 80-120 cm; mittel- bis hochwertige Ackerböden

Klasse 4: Fläche: 9622 km² (35,6%); hohe nutzbare Feldkapazität; Bodenmächtigkeit: 80-120 cm; mittel bis hochwertige Ackerböden

Klasse 5: Fläche: 34 km² (0,1%); sehr hohe nutzbare Feldkapazität; Bodenmächtigkeit: 150 cm; hochwertige Ackerböden

Da die Modellsensitivitätsanalyse keine wesentlichen Unterschiede in den oben genannten Bodenklassen 2 und 5 zu den Nachbarklassen ergab, wurden die endgültigen Simulationen nur für die Bodenklassen 1, 3 und 4 für ganz Österreich durchgeführt um den Algorithmus möglichst einfach halten zu können.

2.5.6.2 Biomasse Ertragsmodell für Grünland

Das empirisch-statistische Ertragsmodell GRAM (Eitzinger et al. 2005) wurde für das österreichische Grünland zur Ertragssimulation verwendet, wobei es auf das FAO-Bodenwasserbilanzmodell aufsetzt.

GRAM beruht auf einer multiplen Regression, wobei bestimmte unabhängige Parameter in vorhergehenden Schritten aufbereitet werden. Dabei handelt es sich vorwiegend um räumlich interpolierte meteorologische Parameter, die aus den Klimadaten berechnet werden bzw. um die aktuelle/potentielle Evapotranspiration die ein Output aus dem vereinfachten FAO Bodenwasserbilanzmodell ist.

Aufgrund der vorhandenen Ertragsdaten konnte das Modell an zuerst 2 ausgewählten Versuchsstandorten (Piber und Gumpenstein, anhand mehrjähriger Ertragsdaten) und später an 16 Grünlandversuchsstandorten (anhand der Ertragsdaten 2002-2004) zufrieden stellend kalibriert und verifiziert werden. Es wurde in den nachfolgenden Jahren jedoch an weiteren Standorten und für mehrere Jahre überprüft und getestet (Trnka et al 2006).

2.5.7 Abschlagsalgorithmen

Um die individuellen Unterschiede im Zwischenfrucht Ertrag zu erfassen, die unter anderen durch unterschiedliche Bewirtschaftung wie Zeitpunkte der Bodenbearbeitung, der Aussaat, der Düngerausbringung, etc. bedingt wurden, war die Einführung zusätzlicher Abschlagsalgorithmen notwendig. Für diese wurden die Empfehlungen von Karl

Buchgraber und Bernhard Schneider für Abschlüsse im Grünlandbereich³ und von Gerhard Danzinger, Josef Eitzinger, Hans Koch, Bernhard Schneider und Thomas Siegl für Abschlüsse bei Zwischenfrüchten herangezogen und auf ihre Plausibilität anhand der erhobenen Ertragsdaten (siehe Abschnitt 2.5.5) überprüft bzw. an diese angepasst.

Im Rahmen dieser Adaption stellte sich heraus, dass die Einführung eines weiteren Parameters (Erntezeitpunkt) notwendig war, um eine akzeptable Berechnung der Zwischenfruchterträge zu erreichen.

Weitere Ertragsdaten, insbesondere Zeitserien, erlaubten eine Präzisierung der benutzten Algorithmen.

Eine Beschreibung der entwickelten Algorithmen findet sich in den Abschnitten 5.1.2 und 5.1.3.

2.5.8 Implementierung der Softwarelösung

In der Umsetzungspraxis musste von der klassischen Methode der Softwareentwicklung (entwerfen einer Spezifikation bzw. eines Pflichtenheftes und umsetzen dieses Pflichtenheft in Code) mehrfach abgegangen werden. Ihr wurde die kontinuierliche Weiterentwicklung der Softwarelösung der Vorzug gegeben.

Eine Testversion der Softwarelösung wurde auf der OPAL-Website veröffentlicht; Rückmeldungen aus der Anwendung wurden gesammelt und verarbeitet. Eine besondere Herausforderung für die Programmierung lag darin begründet, dass das Programm verschiedenen Zielgruppen zur Beantwortung verschiedener Fragen dienen soll.

Großer Wert wurde auf intuitiver Benutzerführung und gute Verständlichkeit gelegt.

Es wurde eine Lösung gewählt, die beim Einstieg abfragt, ob eine regionale oder standortbezogene Analyse durchgeführt werden soll. Je nachdem gelangt man in der Folge zu einer Landkarte der Groß- und Kleinproduktionsgebiete Österreichs, in welcher die Kleinproduktionsgebiete einzeln angeklickt werden können, oder zu einer Landkarte, in der beliebige Standorte angeklickt werden können.

Weiters wurde das Prinzip verfolgt, dass der/die Nutzer/in während der Arbeit am Programm eine Information darüber enthält, wo er sich innerhalb des Eingabeablaufs befindet und dass er von seinem aktuellen Eingabeort um einzelne Masken zurückspringen kann, ohne die Gesamtheit der getätigten Eingaben wieder zu verlieren.

Zudem wurde anfänglich erwogen, eine Möglichkeit in das Programm zu integrieren, mit der der/die NutzerIn zu Anfang eine fixe Anlagengröße für eine Biogasanlage eingeben kann und in der Folge Empfehlungen zur Zusammensetzung der in der Nähe verfügbaren Inputsubstrate gewichtet nach ihrer Nachhaltigkeit erhält. In der Praxis wä-

³Gespräch mit Karl Buchgraber im Rahmen der 2. Steering-Comitee-Sitzung am 05.07.2010.

re diese Funktion vom Markt wahrscheinlich weniger genutzt worden, da potenzielle Betreiber meist schon ein klares Bild davon haben, welche Rohstoffe sie nutzen wollen und können. Da es kein Datenmaterial über verfügbare Einsatzstoffe in der nötigen Aktualität und Feinmaschigkeit gibt, wären die Empfehlungen notwendiger Weise unscharf ausgefallen. Obige Möglichkeit wurde im Programm daher nicht integriert.

2.5.9 Dissemination

Die Veröffentlichung der Forschungsergebnisse und Verbreitung des Wissens erfolgte durch Vorträge und Posterpräsentationen auf vier Fachkonferenzen sowie im Rahmen einer Fachvorlesung von Univ.-Doz. Dr. Karl Buchgraber.

2.5.9.1 Fachkonferenz Cieszyn, Polen

Am 26./27. April 2010 fand in Cieszyn, Polen eine Tagung des Zootechnischen Instituts Grodziec statt. Mag. Nikolaus Arnold durfte Univ.-Doz. Dr. Karl Buchgraber zu dieser Tagung begleiten, um das Projekt OPAL den polnischen Experten zu präsentieren. Neben einem Festakt zum 65-jährigen Bestehen des Institutes waren energetische Landnutzung, Grünlandbewirtschaftung und Klimafolgen die Schwerpunktthemen der Veranstaltung

Das Projekt OPAL wurde vorerst als Poster auf der Tagung präsentiert. Im Rahmen der Veranstaltung konnte dann auch ein Zeitfenster gefunden werden, in dem das Projekt im Rahmen eines Vortrages einem breiten Publikum vorgestellt werden konnte.

2.5.9.2 Fachkonferenz „3. Innovationskongress Biogas 2010“, Osnabrück, Deutschland

Der 3. Innovationskongress Biogas 2010 in Osnabrück wurde von Dr. Karin Mairitsch und Mag. Nikolaus Arnold, zwei Mitarbeitern des OPAL Projektes, besucht.

Der Kongress wurde am 17./18. Juni 2010 von drei deutschen Trägerinstitutionen (Bundesverband Bioenergie, Fachverband Biogas und Deutscher Bauernverband) organisiert. Thematisiert wurden Nutzungskonkurrenzen, Substrataufbereitung, Gasbildungspotenziale und Vergärung von Ackerfrüchten.

OPAL konnte durch ein Poster in der Nähe des Buffets präsentiert werden und fand einige interessierte und aufmerksame Leser.

2.5.9.3 Konferenz „Aufbau und Betrieb der Biogasanlagen“, Tschechien

Vom 7.-8. Oktober 2010 fand im Konferenzsaal des Kurortes Lázně AURORA Třeboň die Konferenz „Aufbau und Betrieb der Biogasanlagen“ statt.

Von DI Dr. Bernhard Schneider wurde der Vortrag „Anbau der Zwischenpflanzen und Einsatz des Gärrückstandes als Dünger in Österreich“, gehalten.

Der Inhalt umfasste unter anderem einen Überblick über Zwischenfruchtanbau, wie eine Vorstellung des Projektes OPAL. Besonderes Augenmerk wurde auf den Aspekt der Versorgung der Biogasanlagen ohne Reduzierung der Nahrungsmittel- und Futtermittelproduktion sowie auf Best-Praxis-Regeln bei Bodenbewirtschaftung gelegt.

2.5.9.4 Fachkonferenz „biogas“, Offenburg, Deutschland

Am 20. und 21. Oktober 2010 fand die Messe „biogas“ in Offenburg/Deutschland statt. Parallel zur Präsentation von Innovationen und technischen Umsetzungen diverser Aussteller aus der Biogas-Branche wurden auf zwei Kongressen die Themen Biogas-Aufbereitung, Gasnetz-Einspeisung, Vermarktung, Wärmenutzung sowie Grünlandverwertung erörtert.

Die Session „Grünlandverwertung“ wurde vom OPAL-Projektpartner Prof. Walter Graf moderiert. Unter seiner fachkundigen Aufsicht wurde das Projekt OPAL von Mag. Nikolaus Arnold vorgestellt. Die Präsentation fand bei den etwa 80 Teilnehmern aufmerksame Zuhörer, was durch zahlreiche Rückfragen und eine rege Diskussion im Anschluss an die Veranstaltung bestätigt wurde.

2.5.9.5 Fachvorlesung Bozen, Südtirol

Am 4. November 2010 wurde in Bozen an der Freien Universität im Rahmen der Vorlesung von Univ.-Doz. Dr. Karl Buchgraber das Projekt OPAL von DI Emmerich Seidelberger und Mag. Markus Drapalik vorgestellt.

Im Anschluss an die 30minütige Präsentation erfolgte eine längere Diskussionsrunde mit Studenten der Universität sowie Repräsentanten der Region. Das Projekt fand positiven Zuspruch, zudem wurden interessante Anregungen gegeben, zum Beispiel ein Vergleich der CO₂-Bilanzen von Grasschnitt mit anderen Bioenergie-Quellen oder eine Darstellung der zum Zwischenfruchtanbau ungeeigneten Regionen.

2.5.9.6 Fachkonferenz „biogas 10“, St. Pölten

Auf dem Biogas Fachkongress „biogas 10“ in St. Pölten, die von der ARGE „Kompost & Biogas Österreich“ vom 30.11./01.12.2010 veranstaltet wurde, hat die OPAL Projektleitung eine Posterpräsentation durchgeführt. Dabei gab es interessante Gespräche mit Konferenzteilnehmern z.B. betreffend den Zwischenfruchtanbau und dessen Ermöglichung im Mühlviertel.

Eine Darstellung der OPAL Zwischenfrucht Datenbasis erfolgte auf einer Präsentation von DI Thomas Siegel vom Energiepark Bruck an der Leitha, in dessen Anschluss auf das Projekt OPAL verwiesen werden konnte.

Einschlägige interessante Fragen ergaben sich auch in einer Diskussion mit Manfred Szerencsits nach dessen Präsentation zum Thema „Grundwasserschutz und Biogas-

erzeugung – Erschließung von Synergien durch Zwischenfrüchte“, eine Präsentation der Ergebnisse des Projekts Syn-Energy.

2.6 Zusammenfassung Kapitel 2

Eine Optimierung der Nahrungsmittel- und Energieproduktion in der Landwirtschaft innerhalb einer Vegetationsperiode unter der für das Projekt gewählten Prämisse „Nahrungsmittel geht vor Energie“ erfolgt durch Optimierung der Flächennutzung und Optimierung der Substraterträge für die energetische Nutzung, soweit diese für das Projekt relevant sind.

Die Optimierung der Flächennutzung auf dem Acker- und Grünland

bedeutet:

- serielle Ackerflächennutzung mit Hauptfruchtanbau und -ernte für die Lebensmittelproduktion und unmittelbar nachfolgend mit Energiepflanzen-Zwischenfruchtanbau und -ernte für die Energieerzeugung,
- serielle Grünlandflächennutzung - mit Raufutterbereitstellung aus den ersten Schnitten und Energieerzeugung aus den Folgeschnitten.

Für beide Formen der energetischen Nutzung sind folgende Elemente wesentlich:

- Eine boden- und ertragsfördernde Flächenbewirtschaftung,
- eine Biogaserzeugung mit bedarfsorientierter Gärrestverwertung
- und ein geschlossener Nährstoffkreislauf.

Die Optimierung der Substraterträge für die energetische Nutzung bedeutet für das Ackerland:

- wo möglich Anbau frühräumender Hauptfrüchte zur Verlängerung der Vegetationsphase für die Zwischenfrüchte,
- unmittelbar anschließend eine boden- und ertragsfördernde Bodenbearbeitung und Zwischenfruchtaussaat,
- optimales bedarfsorientiertes Düngemanagement,
- optimale Wahl von Zwischenfrucht-Energiepflanzen und deren Mischungen hinsichtlich Bodenstruktur, anaerober Vergärbarkeit sowie Qualität und Quantität der Gasausbeute.
- Wahl eines optimalen Zwischenfruchterntetermins.

Die Optimierung der Substraterträge für die energetische Nutzung bedeutet für das Grünland:

- optimales Schnittmanagement, wobei die jeweiligen Schnitte vor Rispen-schieben erfolgen;
- optimales Düngemanagement, wobei die Düngung mit Biogasgülle nach jedem Schnitt bedarfsorientiert erfolgt.

Gemessene Zwischenfrucht- und Graserträge sind Basis für das im Projekt OPAL entwickelte agrarmeteorologische Modell von Österreich.

Die OPAL Projektergebnisse finden im Endbericht und in der OPAL Software zur Berechnung der System-Wirtschaftlichkeit ihren Niederschlag.

Die Software kann Investoren, Anlagenbetreibern und Entscheidungsträgern auf dem Gebiet der erneuerbaren Energien eine Entscheidungshilfe sein.

Das Projekt OPAL erfüllt alle Programmziele des Programms „Energie der Zukunft“.

In den Methodenkapiteln dieses OPAL Berichtes sind die spezifischen methodischen Ansätze und Vorgangsweisen für alle Projekt-Arbeitspakete beschrieben.

Das Arbeitspaket: „Modellentwicklung und Datenerhebung“ wurde durch ein Kapitel „Historische Entwicklung der Datenbasis für den Energiepflanzen - Zwischenfruchtanbau sowie für energetische Grünlandnutzung“ gegenüber dem Antrag erweitert, um eine bessere Standortangabe für das Projekt OPAL geben zu können.

3 Grundlagen und inhaltliche Darstellung

Die folgenden Kapitel sollen einen Überblick über die Flächennutzung in Österreich, sowie die zur Verfügung stehenden Technologien zur Nutzung von Biomasse geben. Weiters werden Grundlagen der Meteorologie und des Klimawandels, sowie des Pflanzenwachstums erklärt.

3.1 Flächennutzung in Österreich

Laut Agrarstrukturhebung 2007 (siehe Statistik Austria 2010) beträgt der Anteil landwirtschaftlich genutzter Flächen in Österreich ca. 38%, jener forstwirtschaftlich genutzter Flächen ca. 40% der gesamten Staatsfläche⁴. 44% der landwirtschaftlich genutzten Fläche ist Ackerland (1,39 Mio. ha) und 54% (1,73 Mio. ha) ist Grünland, welches in Wirtschaftsgrünland (0,87 Mio. ha) und extensives Grünland (0,86 Mio. ha; hauptsächlich Almen und Bergmähder) unterteilt wird. Die restlichen 2% der landwirtschaftlich genutzten Fläche setzen sich aus sonstigen Kulturen wie Haus- und Nutzgärten, Obstanlagen, Weingärten etc. zusammen.

3.1.1 Ackerflächen

Abbildung 5 zeigt die historische Entwicklung der Kulturartenverteilung seit 1960. Der langfristige Trend ist durch einen deutlichen Rückgang der landwirtschaftlich genutzten Flächen zugunsten von Wald und unproduktiven Flächen (Verkehrs-, Siedlungsflächen etc.) charakterisiert. Bei den Ackerflächen beträgt der Rückgang seit 1960 ca. 260.000 ha, bei Grünland ca. 570.000 ha. Der Rückgang bei Grünland geht in erster Linie auf eine Verwaldung extensiver Flächen zurück. Bei Wirtschaftsgrünland ist seit 1960 ein Anstieg um ca. 90.000 zu verzeichnen.

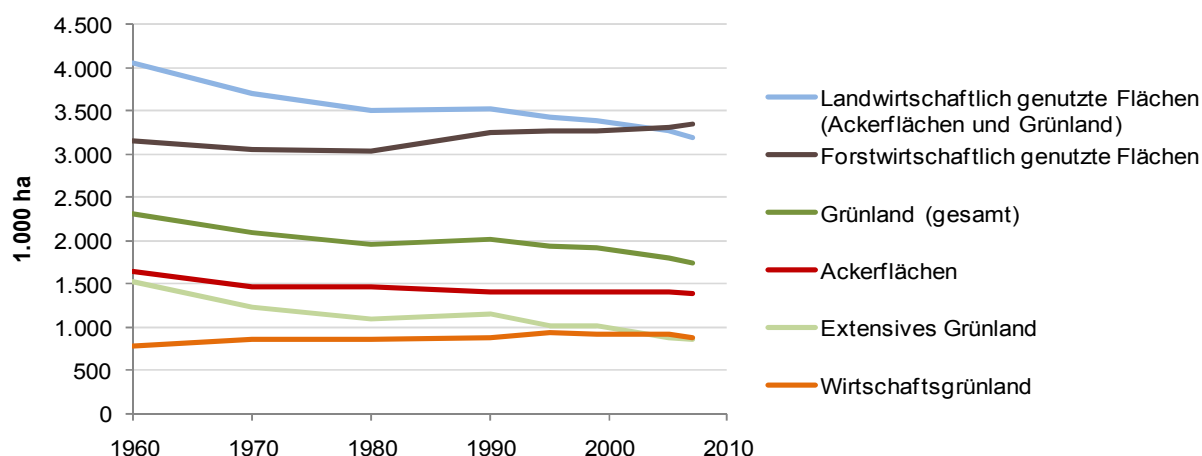


Abbildung 5: Entwicklung der Kulturartenverteilung in Österreich seit 1960

⁴ Laut Waldinventur 2000/02 (BFW, 2004) beträgt der Waldanteil 47,2%. Die Abweichung geht auf unterschiedliche Definitionen zurück.

Quelle: BMLFUW (2009) nach Statistik Austria (Agrarstrukturerhebung)

Wie aus Abbildung 6 ersichtlich, befinden sich fast drei Viertel der Ackerflächen in Nieder- und Oberösterreich (ca. 700.000 ha in Niederösterreich und ca. 300.000 ha in Oberösterreich). Wirtschaftsgrünland ist deutlich gleichmäßiger über die Bundesländer verteilt. Extensives Grünland befindet sich zum Großteil in den gebirgigen Bundesländern.

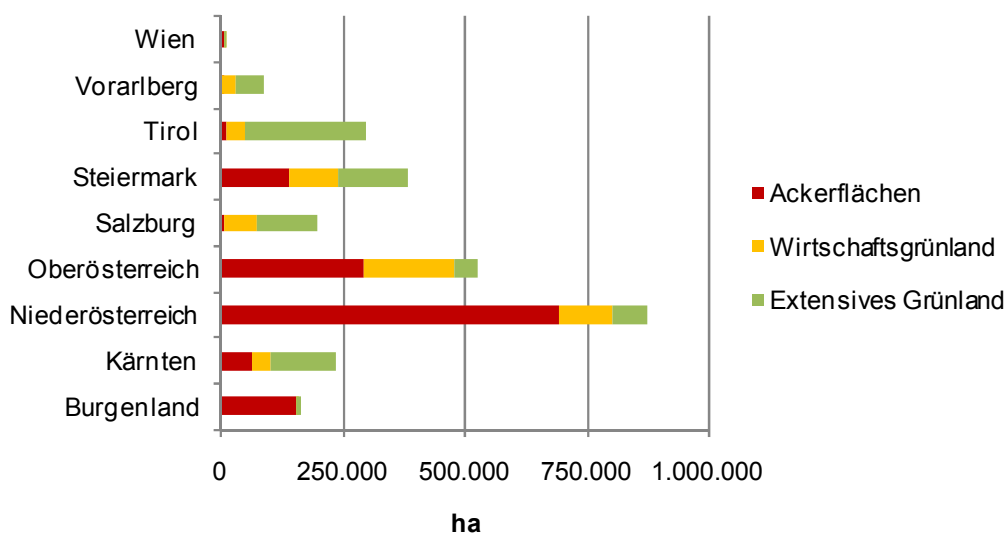


Abbildung 6: Landwirtschaftlich genutzte Flächen nach Bundesländern laut INVEKOS-Daten⁵ 2008

Quelle: BMLFUW (2009) nach Statistik Austria / Agrarmarkt Austria

3.1.1.1 Aufteilung nach Anbausorten

Mehr als 60% der österreichischen Ackerflächen werden für den Getreideanbau genutzt. 26% entfallen auf Brotgetreide (hauptsächlich Weizen und Roggen) und 36% auf Futtergetreide (in erster Linie Körnermais, Gerste und Triticale). Auf weiteren 17% der Ackerfläche werden Grünfutterpflanzen wie Silomais und Klee gras angebaut. Etwa 9% wird für den Anbau von Ölfrüchten (Raps, Sonnenblume, Sojabohne, Ölkürbis etc.) genutzt. Die übrigen Flächen sind mit Hackfrüchten (Zucker- und Futterrübe, Erdäpfel), Körnerleguminosen (Körnererbse, Ackerbohne und andere Hülsenfrüchte) und sonstigen Ackerfrüchten wie Gemüse und Gewürzpflanzen belegt oder liegen brach.

Abbildung 7 zeigt die Entwicklung der Ackerflächennutzung von 2000 bis 2008. Als wesentlichster Trend ist ein Rückgang der Bracheflächen um mehr als 50% zu nennen.⁶ Zu einer geringfügigen Ausweitung des Anbaus kam es bei Feldfutterbau, Öl-

⁵ Das INVEKOS (Integriertes Verwaltungs- und Kontrollsystem) dient der Abwicklung und Kontrolle der EU-Fördermaßnahmen und beinhaltet eine umfassende Datenbank zu den landwirtschaftlich genutzten Flächen, des Tierbestandes etc.

⁶ Die Verpflichtung zur Flächenstilllegung wurde 2008 durch die Europäische Kommission aufgehoben.

früchten, sonstigen Ackerfrüchten (in erster Linie Energiepflanzen bzw. nachwachsende Rohstoffe) und Getreide.

In einer längerfristigen Betrachtung zeigt sich folgendes Bild: Seit 1980 ist der Getreideanbau um ca. 230.000 ha zurückgegangen (hauptsächlich Futtergetreide), jener von Hackfrüchten um ca. 50.000 ha. Der deutlichste Anstieg ist bei Ölfrüchten zu verzeichnen (ca. 110.000 ha).

Aufgrund von Änderungen der agrarwirtschaftlichen und –politischen Rahmenbedingungen kann davon ausgegangen werden, dass es in den nächsten Jahren zu einigen Verschiebungen in der landwirtschaftlichen Produktion kommen wird. Mithilfe von Simulationsmodellen und unter Annahme von Agrarpreisszenarien lassen sich die Haupttrends grob abschätzen. Im Rahmen des Projektes *ALPot* (Kalt et al. 2010) wurden unter Annahme des Agrarpreisszenarios nach (OECD/FAO 2008) für das Jahr 2015 folgende Veränderungen gegenüber dem Basisjahr 2006 ermittelt⁷: eine deutliche Ausweitung der Produktion von Ölfrüchten sowie ein Anstieg bei manchen Getreidearten. Ein Produktionsrückgang ergibt sich bei den Simulationen in erster Linie bei Zuckerrübe.

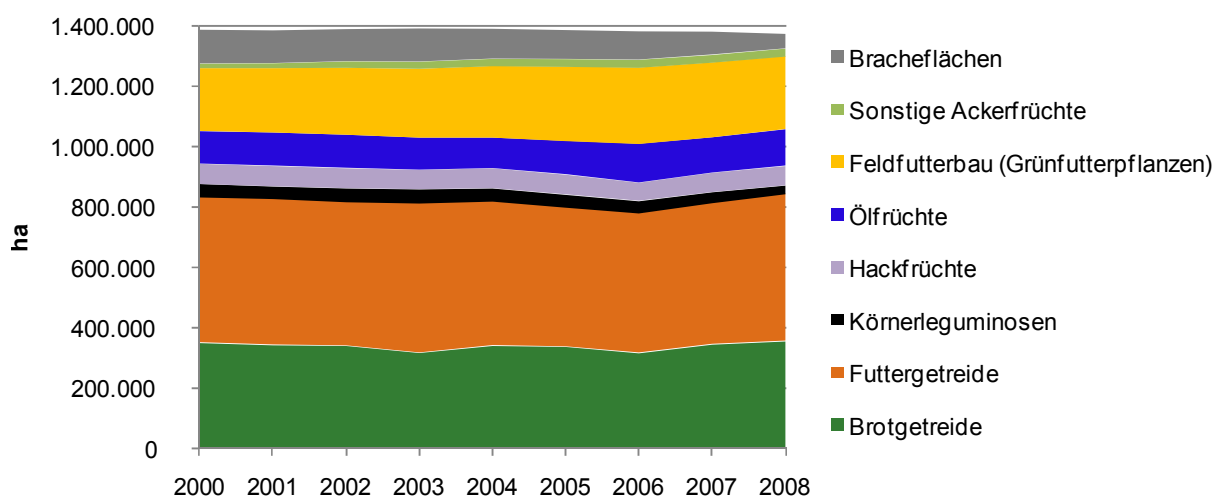


Abbildung 7: Entwicklung des Anbaus auf Ackerflächen von 2000 bis 2008

Quelle: BMLFUW (2009) nach Statistik Austria / Agrarmarkt Austria

⁷ Konkret wurden Daten aus dem Modell *CropRota* (Schönhart et al, 2009) und dem biophysikalischen Prozesssimulationsmodell *EPIC* (Williams, 1995) in das räumlich-explizite Landnutzungsoptimierungsmodell *BiomAT* (Asamer et al., 2010) integriert. Die Simulationen wurden durchgeführt vom Institut für nachhaltige Wirtschaftsentwicklung an der Universität für Bodenkultur Wien.

3.1.1.2 Selbstversorgungsgrad

Der Selbstversorgungsgrad bei pflanzlichen Produkten, definiert als das Verhältnis von Verbrauch zu Inlandserzeugung, zeigt je nach Pflanzenart recht deutliche Unterschiede. In Summe schwankte er bei Getreide, seit einem deutlichen Rückgang Anfang der 90er Jahre, um 100% (siehe Abbildung 8). Bei Weichweizen lag der Selbstversorgungsgrad in der jüngeren Vergangenheit stets deutlich über 100%, während die Inlandserzeugung von beispielsweise Roggen und Körnermais im Durchschnitt der letzten zehn Jahre den Bedarf nicht decken konnte.

Einen deutlich geringeren Selbstversorgungsgrad zeigen die österreichischen Erzeugungs- und Verbrauchsstatistiken bei Obst (66% im Wirtschaftsjahr 2007/08), Gemüse (57%) und pflanzlichen Ölen (23%). Letzterer Wert geht in erster Linie auf den raschen Anstieg der Biodieselproduktion zurück.

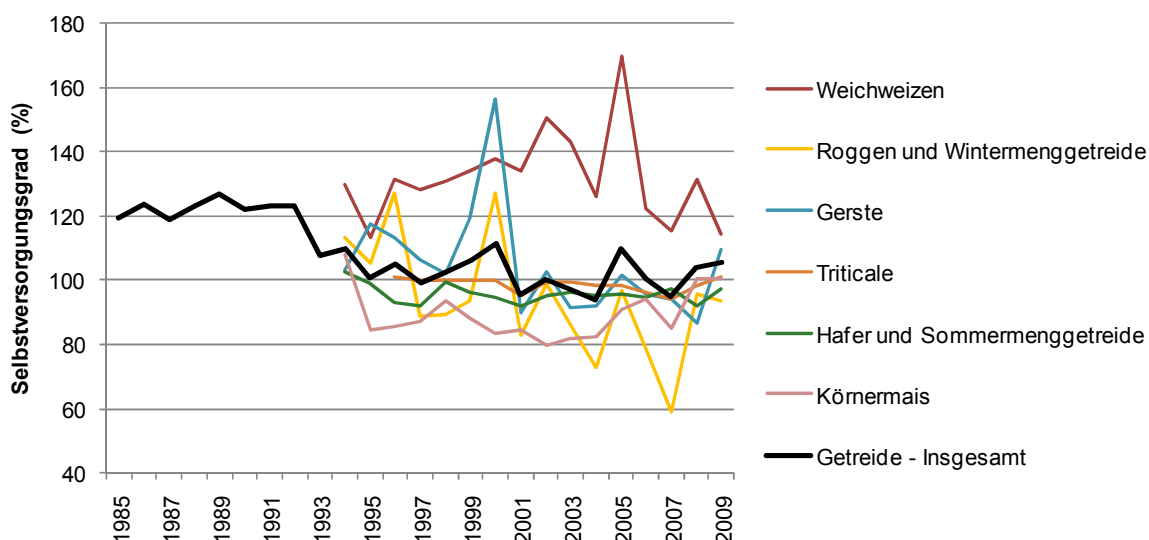


Abbildung 8: Selbstversorgungsgrad bei Getreide im Zeitraum 1985 bis 2009

Quelle: Eurostat (2010)

3.1.2 Grünlandflächen

Die folgende Einleitung sowie die Abschnitte 2.1.2.1 bis 2.1.2.3 stellen eine vom Autor genehmigte wörtliche Wiedergabe aus "Grünlandbewirtschaftung in Österreich" (Buchgraber et al. 2006) dar.

Das österreichische Grünland erstreckt sich von den Niederungen des Neusiedlersees im pannonischen, flachhügeligen Ostösterreich bis hin zu den niederschlagsreichen Berggebieten.

Rund 2,4 Millionen ha landwirtschaftliche Nutzfläche sind in Österreich mit Grünland bewachsen. Auf diesen Grünlandflächen wachsen jährlich rund 6 bis 7 Millionen Tonnen Trockenbiomasse. Die Grünlandanteile an der landwirtschaftlichen Nutzfläche in den Betrieben liegen bei 69% der Grünlandbetriebe über 60%, bei 14% der Betriebe

zwischen 30% und 60%. 17% der Ackerbaubetriebe haben neben ihren Ackerflächen bis zu 30% Grünlandanteil.

In den Berglagen werden die Dauerwiesen je nach Lage zwei- bis dreimal, gelegentlich in den guten Tal-Lagen (Inntal, Salzachtal, Ennstal, Murtal, Mürztal usw.) auch viermal gemäht. Im Rheintal, im Flachgau, Innviertel und im Alpenvorland, in der Buckligen Welt und in den Grünlandgebieten Burgenlands, der Süd- und Oststeiermark sowie Südkärntens und Osttirols werden die wüchsigsten Wiesen in niederschlagsreichen Jahren auch fünf- bis sechsmal genutzt.

Das Wirtschaftsgrünland (Kulturweiden und mehrmähdige Wiesen) liefert, obwohl nur 55% der Futterfläche, rund 75% des jährlichen Futteraufkommens für die Raufutter verzehrenden Tiere in Österreich.

Extensives Grünland in Form von einmähdigen Wiesen, Hutweiden, Streuobstwiesen, Streuwiesen und Naturschutzwiesen liegt in über 180.000 Kleinparzellen (Ø 1,2 ha) vom Burgenland bis nach Vorarlberg vor. Dazu kommen in den Höhenlagen noch die Almen mit etwa 830.000 ha, wobei rund 500.000 ha als Futterfläche dienen. 330.000 ha ehemaliges Almgebiet droht mehr und mehr zuzuwachsen. In den Niederungen liegen auch rund 40.000 ha nicht mehr genutztes Grünland vor, welches in den nächsten Jahren verbuscht und verwaldet.

Das extensive Grünland weist insgesamt 1.097.127 ha auf, das sind 45% vom Gesamtgrünland in Österreich.

Der Feldfutterbau mit den Kleegräsern, Wechselwiesen, Luzerne- und Rotkleebeständen wird in den letzten Jahren von den Landwirten wieder forciert. Insbesondere in den für das Dauergrünland trockenen Regionen bekommt der in die Fruchtfolge integrierte Anbau von ertragreichen und hochqualitativen Gräsern und Luzerne-/Kleearten eine größere Bedeutung. Gemessen am gesamten Ertragsvolumen des österreichischen Grünlands liefert der Feldfutterbau nahezu 15%. Zusätzlich sind rund 100.000 ha an Ackerfläche in Österreich temporär mit einer Grünlandbrache besetzt, deren Biomasse nur in Ausnahmefällen verfüttert werden darf. In der Regel werden diese Flächen einmal jährlich geschlegelt oder gemulcht. Diese Grünbrachen konzentrieren sich auf die Ackerbaugebiete Ostösterreichs und könnten künftig vermehrt für eine energetische Nutzung herangezogen werden.

Die Gesamtgrünlandfläche in Österreich dient zu 80% für die Futternutzung, wobei hier in der Praxis alle Übergangsformen von extensiv bis intensiv vorliegen. Geschätzte 20% der o.a. Grünlandflächen Österreichs, das sind nahezu 500.000 ha, sind derzeit ohne Nutzung.

Die Grünbracheflächen im Ackerland können nach vertraglicher Vereinbarung wieder in die Produktion aufgenommen werden. Die nicht mehr genutzten Grünlandflächen, insbesondere in den Almregionen, würden ansonsten verbuschen und allmählich wieder zu Wald werden. Wie viele extensive Grünlandflächen, die heute noch bewirtschaftet

tet werden, künftig durch die Nutzungsaufgabe verloren gehen werden, hängt von agrar- und gesellschaftspolitischen Zielen ab. Wird das Ackerland für die Lebensmittel- und Energieerzeugung künftig wieder stärker ausgeschöpft, so wird der Wiederkäuer wieder stärker an Futter aus Dauergrünland gebunden sein.

3.1.2.1 Strukturen, Höhenstufe und Hangneigung

Österreich ist ein Land kleiner Fluren. Rund 50% aller Grünlandschläge in Österreich sind kleiner als 0,5 ha, rund 72% kleiner als 1,0 ha. Nur 2% aller Grünlandparzellen weisen eine Schlaggröße von über 5 ha auf. Diese Ausmaße zeigen schon, wie schwierig es ist, unter dem heute herrschenden Kostendruck diese Flächen rationell zu bewirtschaften. Die Hangneigung von über 29% der Wirtschaftswiesen liegt über 25 - 50% – auf den rund 360.000 Einzelparzellen können rationell arbeitende moderne Großgeräte zur Grünlandbewirtschaftung nicht oder kaum eingesetzt werden. 71% der Flächen weisen eine Hangneigung von 25% auf und sind abgesehen von vernässten Tallagen und von oft ungünstigen Flächenzuschnitten problemlos zu bewirtschaften.

In Österreich liegen von den Grünlandfutterflächen rund 70% in südlicher und 30% in nördlicher Ausrichtung. In den Berglagen wurden Südhänge bevorzugt für die Kultivierung von Grünland gerodet, während die Nordlagen seltener dafür herangezogen wurden. Nordlagen sind daher stärker mit Wald bestockt und Südlagen häufiger mit Wiesen und Weiden durchsetzt.

Dauergrünland findet sich in Österreich in einer Seehöhe von 200 m (etwa im Seewinkel) und geht auf über 1.500 m in die alpinen Lagen. Nur 46% der Grünlandflächen liegen unter einer Seehöhe von 600 m. Hier wird auch der Großteil des Feldfutterbaues betrieben, der in diesen Höhenlagen auf den ackerfähigen Standorten meist abwechselnd mit dem Silomaisbau betrieben wird. In milderen Lagen unter 600 m Seehöhe, kommen auch ertragreiche Vielschnittflächen vor, die fallweise bis zu sechs Mal pro Jahr genutzt werden.

Zwischen 600 m und 1.000 m Seehöhe befinden sich 41% der Grünlandflächen, wobei aber hier die Drei- und Zweischnittflächen dominieren.

13% der Grünlandflächen für die Heimbetriebe liegen über 1.000 m Seehöhe. In dieser Seehöhe, in der die Vegetationszeit deutlich verkürzt ist, sind Einschnittwiesen, Kultur- und Hutweiden vorherrschend.

Interessant ist auch, dass mit zunehmender Höhenlage die Parzellengröße in arrondierter Lage zunimmt. Ab 1.000 m Seehöhe werden in Österreich rund 215.000 Einzelflächen bewirtschaftet. Zudem werden 9.095 Almen mit einer Almfutterfläche von 500.195 ha mit insgesamt 430.000 landwirtschaftlichen Nutztieren bestoßen. 5.319 ha Bergmähder werden noch jedes Jahr bzw. jedes zweite Jahr einmal gemäht.

3.1.2.2 Tierbesatz und Düngerrücklieferung

Der durchschnittliche Tierbesatz in Österreich liegt im Grünlandgebiet bei 0,8 Großvieheinheiten (GVE) pro ha.

Da über 95% der Betriebe keinen mineralischen Stickstoff im Grünland verwenden, kann bei der kreislaufbezogenen Wirtschaftsweise vom Tierbesatz auf den Nährstofffluss insbesondere der Stickstoffzufuhren aus den Betrieben auf die Flächen geschlossen werden. Die Grünlandflächen (ohne Almen) werden zu 38% unter 60 kg/ha mit wirtschaftseigenem Stickstoff versorgt. 54% der Flächen bekommen zwischen 60 und 120 kg N/ha, nur 8% der Wiesen und Weiden erhalten von 120 bis 210 kg N/ha und Jahr aus Wirtschaftsdünger und ggf. Mineraldünger.

3.1.2.3 Niederschlagsverteilung auf den Grünlandflächen

Das Grünland in guter Ertragslage benötigt in der Vegetationsperiode für das Wachstum mindestens 800 mm Jahresniederschläge in guter Verteilung. In Österreich zeigten sich schon in den letzten 30 Jahren unterschiedliche Niederschlagszonen für das Grünland. Bei weniger als 600 mm Jahresniederschlag treten auf Grünlandflächen - bei Dauergrünland auf seichtgründigen Böden auch bei 600 bis 800 mm Jahresniederschlag - immer wieder Versorgungsprobleme im Hochsommer auf. Ab 800 mm Jahresniederschlag sollte eine ausreichende Wasserversorgung gegeben sein; gehen die Jahresniederschläge darüber hinaus, sind die zu häufigen Regentage oft ein Hindernis für eine hochwertige Futterkonservierung.

Im Burgenland liegen nahezu 50% der Grünlandflächen im Niederschlagsbereich von unter 600 mm und die restlichen Wiesen und Weiden, aber auch Feldfutterflächen, weisen nicht mehr als 800 mm auf.

Niederösterreich bekommt auf 8% der Flächen (vor allem Nordosten) eine durchschnittliche Niederschlagsmenge von weniger als 600 mm, weitere 34% der Grünlandflächen in Niederösterreich erhielten 600 bis 800 mm pro Jahr.

Während im Burgenland kaum über 800 mm Niederschlag fallen, wiesen die Grünlandflächen österreichweit zu 56% zwischen 800 und 1.200 mm und 28% über 1.200 mm Niederschlag auf (vergleiche Tabelle 3).

In Vorarlberg erhielten 95% der Grünlandflächen mehr als 1.200 mm pro Jahr. In Österreich war die Wasserversorgung über die Niederschläge für das Grünland in den Jahren 1960 bis 1990 auf 230.000 ha zu gering oder mangelhaft. In den letzten Jahren, insbesondere im Jahre 2003, trat eine massive Trockenheit auf, bei der rund 500.000 ha Wiesen und Weiden austrockneten.

Tabelle 3: Verteilung des Grünlandes auf Flächenklassen Jahresniederschläge auf das Grünland in den einzelnen Bundesländern im Durchschnitt der Jahre 1960-1990, in Prozent (gesamtes Grünland eines Bundeslands = 100%) nach INVEKOS 2003 (Buchgraber et al. 2006)

Bundesland	Flächenklassen nach Jahresniederschlag in mm			
	< 600	600 - 800	800 – 1.200	> 1200
Burgenland	48%	50%	2%	0
Niederösterreich	8%	34%	42%	16%
Kärnten	0	3%	72%	25%
Steiermark	0	6%	77%	17%
Oberösterreich	0	14%	67%	19%
Salzburg	0	0	37%	63%
Tirol	0	3%	45%	52%
Vorarlberg	0	0	5%	95%
Österreich	3%	13%	56%	28%

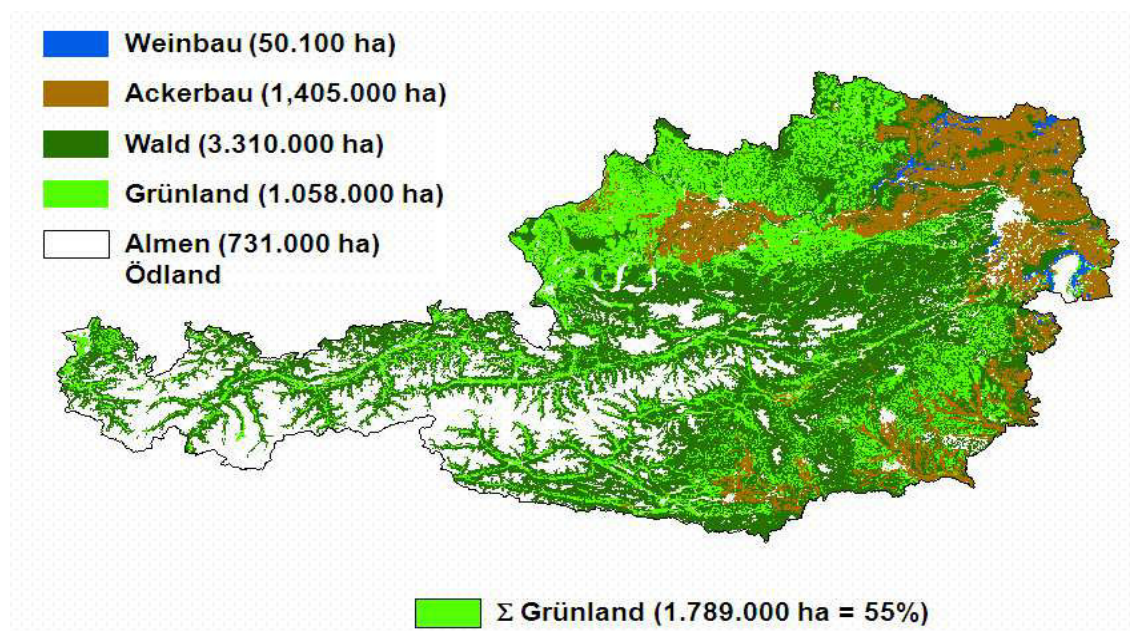


Abbildung 9: Landwirtschaftliche und forstwirtschaftliche Flächennutzung in Österreich (CORINE 1990 - UBA; BMLFUW 2007; SCHAUMBERGER 2008)

Aus Abbildung 9 sind unter anderen auch die für das Projekt OPAL relevanten Flächen für Grünland ersichtlich und flächenmäßig erfasst.

3.1.2.4 Referenz - Grünlandflächen für die agrarmeteorologische Modellierung im Projekt OPAL

Basis für die agrarmeteorologische Modellierung im Projekt sind Ertragsergebnisse aus Langzeit-Feldversuchen im Grünland, die an den Standorten Gumpenstein (1961–2001, 2002–2003), Piber (1971–2001, 2002–2003) und Admont (1977–1999) durchgeführt wurden, zitiert in (Trnka et al. 2006). Die Standorte repräsentieren typisch österreichisches Grünland bezüglich Boden, Klima und Seehöhe. An allen Standorten handelt es sich um Dauergrünland.

In den Feldversuchen wurden die Flächen i.a. immer am Beginn eines neuen Aufwuchses, also nach jedem Schnitt mit gleichen Mengen Stickstoff (Kalzium-Ammonium-Nitrat) gedüngt.

Die Erträge in Gumpenstein lagen bei einem 3-Schnittregime mit Düngung von 40 kg/ha nach jedem Schnitt im Bereich von 7,4 bis 12,3 tTM/ha, für ein 4-Schnittregime mit Düngung von 30 kg/ha im Bereich von 6,6 bis 11,5 tTM/ha und für ein 6-Schnittregime mit Düngung von 20 kg/ha im Bereich von 4,8 bis 10,8 tTM/ha. Die Messungen am Standort Gumpenstein dürften bei den gegebenen klimatischen Bedingungen für Schnitte größer drei eine gewisse Übernutzung der Fläche darstellen. Dies wurde auch 2004 von Amon festgestellt (Amon 2006).

Die Wiesengrasstandorte Admont-Buchau und Gumpenstein-Irdning, welche die wesentlichen Standorte für die Grünland Ertragsdatenbasis zur agrarmeteorologische Modellierung in OPAL lieferten, sind 2004 auch von Amon (Amon 2006) herangezogen worden, um den Biomasseertrag des Wiesengrases aus extensiv (Admont-Buchau) und intensiv (Gumpenstein-Irdning) genutzten Grünlandflächen zu bestimmen (Abbildung 10).

Die Erträge aus den intensiv genutzten Flächen stellen eine gute Validierungsbasis für das agrarmeteorologische Modell in OPAL dar. Es wurden von Amon drei- und vierschnittige Nutzungssysteme in ihrer Ertragsbildung vergleichend untersucht, bei welchen ein früher und ein später Schnittzeitpunkt in Betracht gezogen wurden. Schnittzahlen größer drei scheinen auf eine Übernutzung der Flächen am Standort hinzuweisen.

Weiters wurde von Amon aus den Daten der Grünland-Biomasseproduktion der Methanhektarertrag auf Basis von Batch-Versuchen berechnet und der optimale Erntezeitpunkt des Wiesengrases bestimmt (Abbildung 11, Abbildung 12).

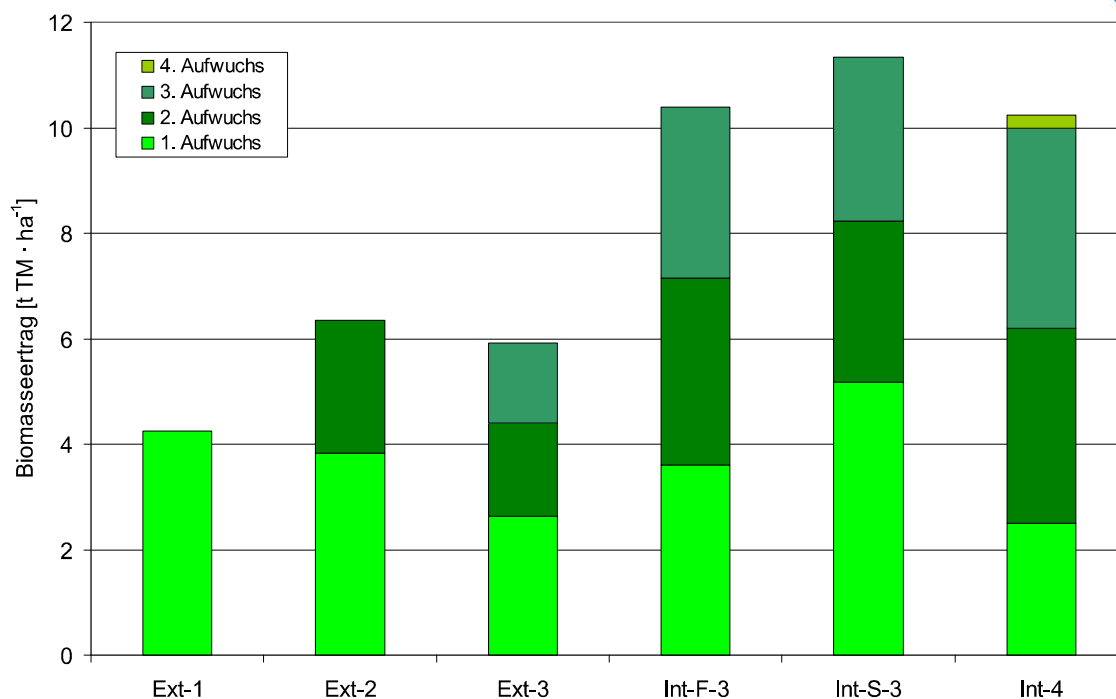


Abbildung 10: Biomasseerträge der unterschiedlich genutzten Wiesenrasbestände (Amon 2006)

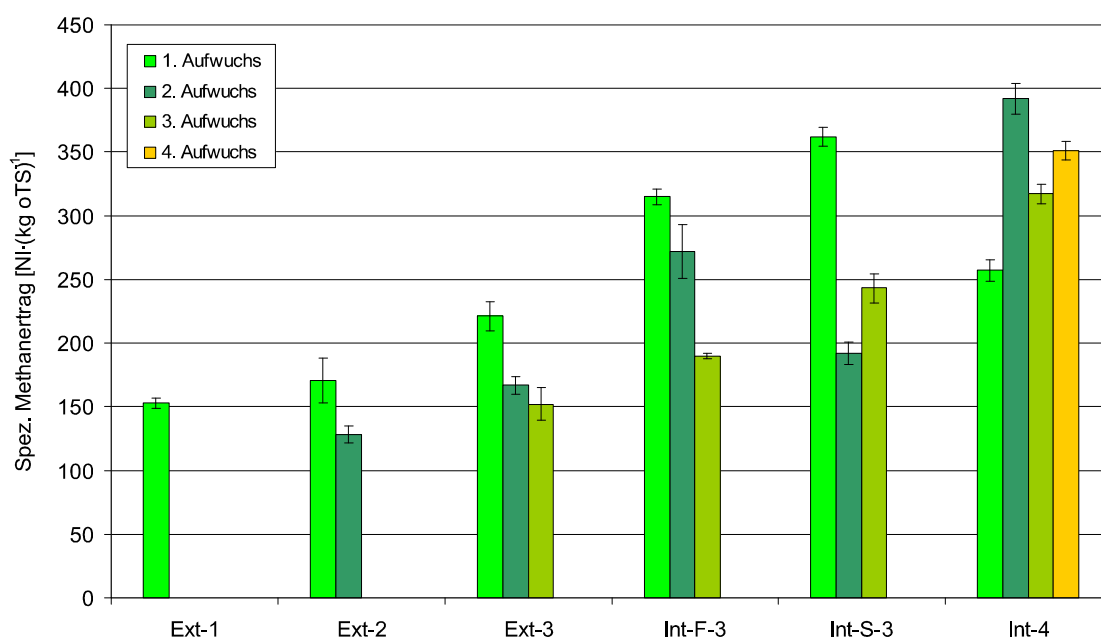


Abbildung 11: Spezifischer Methanertrag der Wiesenrasbestände im Verlauf der einzelnen Aufwüchse (Amon 2006)

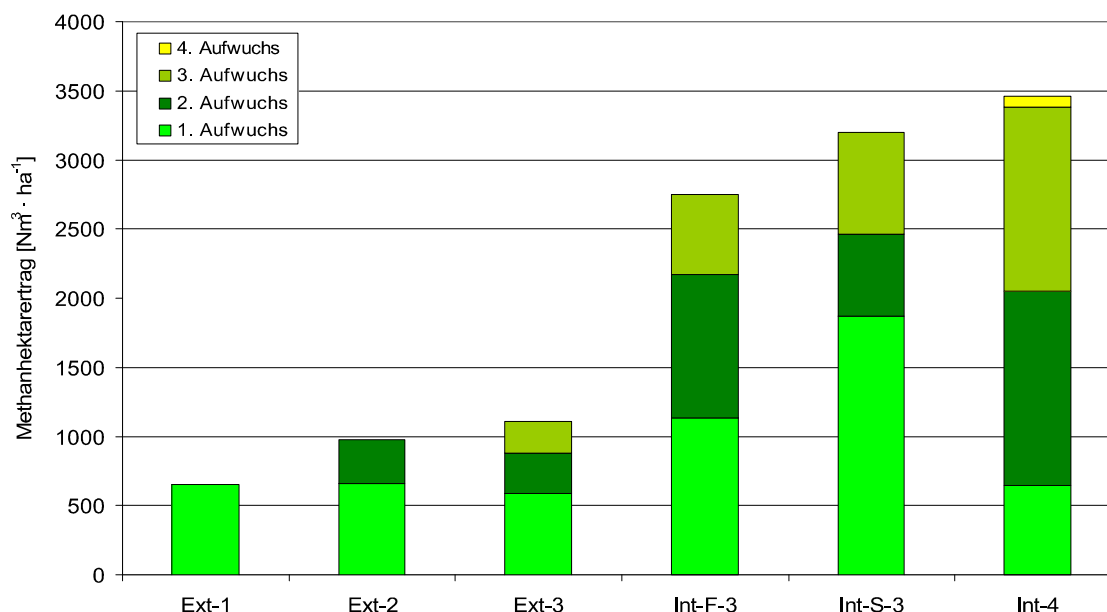


Abbildung 12: Methanhektarerträge der Wiesen grasbestände in den einzelnen Aufwüchsen (Amon 2006)

Wie ersichtlich, erhöht sich im Gegensatz zu den Verhältnissen beim Biomasseertrag der gesamte Methanhektarertrag je mehr Aufwüchse geerntet werden.

Die vorliegenden Ergebnisse zum Wiesen gras sind für das Projekt OPAL von besonderem Interesse. Sie betreffen auch die Feststellungen zum optimalen Schnittzeitpunkt.

3.2 Meteorologie & Klimawandel (Grundlagen)

In Österreich gibt es einen ausgeprägten Ost-West-Gradienten bei der Temperatur, der in erster Linie durch die Zunahme des kontinentalen Einflusses nach Osten hin erklärbar ist. Im Januar liegen die wärmsten Temperaturen im Rheintal und nehmen nach Osten hin sukzessive ab. Im Hochgebirge der Alpen kommen höhenbedingt Januarmittel unter -10°C vor. Im Juli hingegen liegen die heißesten Gebiete im Osten. Im österreichisch-slowakisch-ungarischen Grenzgebiet werden Julimittelwerte von 20°C und mehr erreicht. Nur im Klagenfurter Becken und der südlichen Steiermark kommen noch ähnlich hohe Sommertemperaturen vor. Im Sommer zeichnen sich die Gebirge durch eine noch stärkere Temperaturabnahme mit der Seehöhe aus als im Winter und diese liegt bei rund 6°C je 1000 m Seehöhe.

Ein wichtiger Faktor der Kontinentalität ist die Zunahme sowohl des Tagesganges als auch des Jahresganges der Temperatur. Auch bei der Kontinentalität zeigt sich ein Gebirgseffekt. Diese nimmt mit der Seehöhe ab, da die höher gelegenen Gebiete im Winter über den „Kaltluftseen“ liegen. Dadurch ist sowohl der Jahresgang als auch der Tagesgang nicht so stark ausgeprägt wie in den Tal- und Beckenlagen. In kontinentalen Regionen ist nicht nur der Jahresgang, sondern auch der Tagesgang stärker aus-

geprägt als in den maritim beeinflussten Regionen. Mit extrem kalten Temperaturen im Hochwinter ist daher vor allem im generell kälteren Osten zu rechnen. Im Großraum Wien sind zum Beispiel im Mittel etwa alle fünf Jahre Temperaturminima unter -20 °C zu erwarten. In den Gebirgen ist das Frostrisiko besonders in den Tälern und Becken stark ausgeprägt; in den höheren Lagen nimmt es wegen der geringeren Kontinentalität hingegen ab. Im Sommer ist das östliche Österreich, und hier besonders der Südosten, auch einer stärkeren Hitzebelastung ausgesetzt. Verbreitet erreichen hier die Monatsmittelwerte der wärmsten Monate über 20 °C , an Extremtagen können die Tagesmaxima sogar nahe 40 °C erreichen.

Die Hauptfeuchtequellen für Österreich sind der Atlantik, das Mittelmeer und die Nord- und Ostsee. Die Niederschläge weisen wegen der Kontinentalität ebenfalls einen west-östlichen Gradienten auf, allerdings modifiziert durch die Alpen. In Österreich reicht die Bandbreite des Jahresniederschlages von weit mehr als 2000 l/m^2 in den Stauregionen der Alpen bis zu knapp 500 l/m^2 in einigen von Gebirgen abgeschatteten Regionen (Lee-Effekte) im Nordosten Österreichs. Beim Niederschlag wirken sich die Gebirge besonders regional modifizierend aus. Kommen etwa an der Wind zugewandten Seite (Luv) des Bayrischen Waldes, des Mühl- und Waldviertels Jahresniederschläge von mehr als 1000 l/m^2 vor, so sind es in den angrenzenden Wind abgewandten Seiten, wie dem Weinviertel, weniger als 500 l/m^2 . Diese Gebiete zählen dadurch zu den trockensten Regionen in ganz Europa und nur weil der Hauptniederschlag während der Vegetationsperiode fällt, kann hier nennenswerte Landwirtschaft betrieben werden.

Im Flachland kommt in erster Linie die Kontinentalität zum Tragen. So liegt der Jahresniederschlag am Rhein bei mindestens 700 l/m^2 , in den Tiefländern an der Ostgrenze Österreichs teilweise sogar unter 500 l/m^2 . In weiten Teilen des östlichen Flachlandes ist daher Landwirtschaft nur dort möglich, wo in den Böden ausreichend Niederschlag für die Vegetationsperiode gespeichert werden kann. Aufgrund der Wasserknappheit spielt hier die Wasserhaltefähigkeit der Böden eine wesentliche Rolle für die Landwirtschaft.

Besonders wichtig für die sommerliche Wasserversorgung der Vegetation sind Gewitter. Während lang anhaltender Trockenperioden sind oftmals lokale Wärmegewitter oder regionale Frontalgewitter die einzige Niederschlagsquelle und können dadurch zum Beispiel Trockenschäden in der Landwirtschaft verhindern. Andererseits können durch sehr hohe Niederschlagsraten oder gar Hagel und Sturmböen große Schäden in der Landwirtschaft verursacht werden. Auch die Gewitterhäufigkeit hängt sehr stark mit der Topografie zusammen. Die höchsten Blitzdichten mit mehr als vier Blitzeinschlägen pro Quadratkilometer und Jahr finden sich südlich des Alpenhauptkammes im Grenzgebiet zwischen Italien und Slowenien. Weitere Gewitterzentren liegen am östlichen Rand der Alpen und am Alpennordrand. Am Alpenhauptkamm sind Gewitter hingegen deutlich seltener. Folgerichtig ist in den Gewitterzentren die Wahrscheinlichkeit für Schäden aus Hagel oder Starkwinden deutlich erhöht.

3.2.1 Aktuelle Klimaszenarien

Alle Globalen Klimamodelle (GCMs) zeigen grundsätzlich eine deutlich stärkere Erwärmung über den Kontinenten als über den Ozeanen. Dies kommt daher, dass in den Ozeanen der Hauptteil der zusätzlichen Energie durch Wasser – wobei Energie gebunden wird – und nicht für die Erwärmung umgesetzt wird. Zusätzlich erfolgt die Erwärmung nicht nur an der Oberfläche, sondern erwärmtes Wasser wird durch Durchmischungsvorgänge auch in tiefere Schichten des Ozeans geführt. Weiters zeigen alle GCMs eine stärkere Erwärmung der oberflächennahen Luftschichten in mittleren und höheren Breiten. Für Mitteleuropa bedeutet dies, dass man mit einer deutlich stärkeren Erwärmung rechnen muss als für die Erde als Gesamtes. Für Mitteleuropa wird ein etwa 1,5-mal stärkerer Temperaturanstieg erwartet als im globalen Mittel.

Für die 2020er-Jahre zeigen sich zwischen den verschiedenen Emissionsszenarien kaum Unterschiede und die Erwärmung beträgt im globalen Mittel nicht ganz ein Grad. Aber schon hier ist die typische räumliche Verteilung zu sehen. In den 2090er-Jahren sind die Unterschiede zwischen den Emissionsszenarien schon sehr groß. Besonders dramatisch ist die Temperaturentwicklung in der Arktis (am Nordpol), wo unter dem A1B- und dem A2-Szenario (hohe Treibhausgasemissionen) Temperaturanstiege von mehr als sieben Grad zu erwarten sind.

Die Aussagen über die Niederschlagsentwicklung im 21. Jahrhundert sind wesentlich unsicherer als die zur Temperatur. Dies liegt daran, dass für die Niederschlagsentstehung verschiedene Prozesse in Frage kommen, wie etwa kleinräumige Wärmegewitter oder großräumige frontale Niederschläge. Dennoch zeichnen sich in Europa, übereinstimmend in den unterschiedlichen Szenarien, zwei Regionen mit signifikanten Niederschlagsänderungen ab. Im Mittelmeerraum und auf der Iberischen Halbinsel sind demnach markante Niederschlagsabnahmen in allen Jahreszeiten zu erwarten. In den nördlichen Regionen, wie in Skandinavien und Nordrussland, ergeben die Szenarien eine Zunahme des Niederschlags. Für Mitteleuropa zeigt sich bei den GCMs keine signifikante Änderung. Jedoch dürfte Mitteleuropa im Winter eher eine Niederschlagszunahme erfahren und im Sommer eher eine Abnahme, wobei durchaus kleinräumige, regionale Unterschiede möglich sind.

Durch die Lage zwischen diesen beiden Polen der Niederschlagsentwicklung in Europa scheint eine Zunahme der zwischenjährlichen Variabilität (Schwankungen von Jahr zu Jahr) der saisonalen Niederschläge wie es einige Studien zeigen, durchaus plausibel. In Jahren mit stärkerem Azorenhoeinfluss kommt es zu trockeneren und im Sommer zu heißeren Verhältnissen als bisher gewohnt. In Jahren mit stärkerem Einfluss aus Skandinavien und von der Nordsee hingegen kann es im Sommer sogar feuchter sein als derzeit, jedoch ebenfalls warm.

Die Ergebnisse von regionalen Klimamodellen zeigen uns ein differenzierteres Bild in Mitteleuropa. Für die Mitte des Jahrhunderts zeigt das B1-Szenario (geringe Treibhausgasemissionen) eine Erwärmung von rund einem Grad. Das A1B- und das A2-

Szenario führen hingegen schon zu mehr als 1,5 Grad Erwärmung. Bis zur Jahrhundertmitte zeigen die Szenarien eine stärkere Erwärmung im Winter als im Sommer. Am geringsten ist die Erwärmung im Frühjahr. Im Winter zeigt sich ein leichter Ost-West-Gradient bei der Erwärmung. Richtung Atlantik ist die Erwärmung geringer als im Osten. Markant stärker ist auch die Erwärmung im Hochgebirge der Alpen. Im Sommer zeigt sich ebenfalls ein Ost-West-Gradient, nur diesmal ist im Osten die Erwärmung geringer als im Westen. Am Alpenhauptkamm ist die Erwärmung ebenfalls stärker. Für das Gesamtjahr ergibt sich daher im Großteil von Mitteleuropa eine sehr gleichmäßige Erwärmung, nur im hochalpinen Bereich fällt sie etwa um ein halbes Grad stärker aus.

Beim Niederschlag zeigt sich insbesondere in der zweiten Hälfte des Jahrhunderts eine deutliche Differenzierung der Jahreszeiten. Im Winter nehmen die Niederschläge in allen drei Szenarien zu, wobei das Signal beim B1-Szenario am geringsten ist. Beim A1B- und A2-Szenario beträgt die Zunahme doch bis zu 20%, wobei die Unterschiede in den einzelnen Dekaden sehr groß sein können. In der zweiten Jahrhunderthälfte kommt es im Sommer – ebenfalls bei allen drei Szenarien – zu einer Niederschlagsabnahme. Auch hier ist das Änderungssignal beim B1-Szenario am geringsten. Die Größenordnung ist ähnlich wie im Winter.

In vielen Regionen Mitteleuropas beträgt die Verlängerung der Vegetationsperiode bis zur Mitte des Jahrhunderts mehr als drei Wochen. Die Länge der Vegetationsperiode wird vor allem im Gebirge durch die Dauer der Schneedecke bestimmt, für die ebenfalls starke Rückgänge erwartet werden. Die Dauer der Schneedecke ist in vielfältiger Hinsicht für den Pflanzenbau wichtig. Sie bietet zum Beispiel einen wichtigen Frostschutz gegen starke Fröste für Winterungen oder beeinflusst die Abtrocknung auf den Feldern mit – je nach Standort – positiven oder negativen Auswirkungen, beispielsweise auf die Bodenbefahrbarkeit oder den Bodenwassergehalt.

Neben den Auswirkungen auf die Verschiebung der mittleren klimatischen Bedingungen wird aber auch eine mögliche Zunahme an Witterungsextremereignissen vermehrt zu Problemen führen, vor allem in der Landwirtschaft. Es ist aus physikalischen Gründen wahrscheinlich, dass bei steigender Temperatur eine Zunahme der Niederschlagsintensität zu erwarten ist. Derzeit ist nach (Böhm 2008a) eine Zunahme der Starkniederschläge im nördlichen Alpenraum allerdings nur bei steigenden Jahresniederschlägen bzw. für Deutschland im Winter und in den Übergangsjahreszeiten (Schönwiese 2008) nachgewiesen. Um quantitative Aussagen über eventuelle Zunahmen Schaden verursachender Starkniederschläge machen zu können, sind die Klimamodelle heute noch nicht genau genug. Dies gilt ebenso für Hagel und für mit Gewittern einhergehende Stürme. Bei atlantischen Stürmen geht man derzeit zwar von einer Zunahme aus, da aber viele Modelle auch eine Verschiebung der Sturmbahnen nach Norden zeigen, ist unklar, wie sich dies auf die Häufigkeit und Intensität in Mitteleuropa auswirken wird.

Die Szenarien der Temperatur hingegen sind robust genug, um auch Änderungen von Extremereignissen in dieser Hinsicht abschätzen zu können. Zu den für die Landwirt-

schaft wichtigen Spätfrösten kann wegen der vielfältigen topografischen Einflüsse keine räumlich einheitliche Aussage gemacht werden bzw. sind räumlich unterschiedliche Trends wahrscheinlich.

Die Hitzebelastung dagegen wird sehr wahrscheinlich stark zunehmen, da sich dies schon alleine aus einer Zunahme der mittleren Temperaturen ergibt. Hierzu kann man auch genauere Aussagen machen. Als Maß für die Hitzebelastung kann man zum Beispiel das Auftreten von Tagen mit Temperaturen über 30°C (Hitzetage) heranziehen. Mit zehn Hitzetagen pro Jahr der obigen Definition muss man dann bis hinauf nach Hamburg rechnen. Im Rheintal und im Wiener Becken kommen dann im Mittel mehr als 40 Hitzetage pro Jahr vor, also etwa das 4-fache der bisherigen Werte.

Einen Vorgeschmack darauf gab das warme und trockene Jahr 2003, als es in Wien zum Beispiel genau 40 Hitzetage gab. Nach diesem Szenario wäre der Sommer 2003 am Ende des Jahrhunderts gerade einmal ein mittlerer Sommer hinsichtlich der Temperaturen. In weiten Teilen Mitteleuropas herrscht dann etwa eine Hitzebelastung, wie sie derzeit nur aus dem Mittelmeerraum bekannt ist.

3.3 Technologien zur energetischen Nutzung agrarischer Rohstoffe

In Forschung und Entwicklung wurden in den letzten Jahrzehnten viele Umsetzungsmöglichkeiten zur energetischen Nutzung von Biomasse angedacht. Dieses Kapitel soll einen Überblick über mehr oder weniger etablierte Verfahren geben.

Der technologische Entwicklungspfad geht von der Entwicklung und Optimierung einzelner technologischer Komponenten hin zu deren regionaler Optimierung, die auf einer Gesamtpotenzialanalyse verfügbarer land- und forstwirtschaftlicher Produkte nach Abzug der für die Nahrungs- und Futtermittelerzeugung nötigen Produktmengen basiert.

Dabei sind vorhandene regionale Energieverbrauchs- und Leitungsstrukturen (Lage und Kapazitäten des Strom- und Gasnetzes ebenso einzubeziehen wie die in der Region vorhandenen organischen Abfälle (Klärschlamm, Bioabfall, Abfälle aus der Nahrungs- und Futtermittelindustrie, Gülle, Altholz, etc.).

Die technologische Optimierung erfolgt durch:

- Entwicklung fein optimierter Systemgrenzen zwischen Nahrungs- und Futtermittelproduktion, Energie- und NAWARO-Produktion mit dem Ziel der vollständigen möglichst hochwertigen Ausnutzung jeder Biomasse (Kaskadennutzung).
- Optimierung der Mischung der Outputprodukte untereinander und mit fossilen Energieträgern.
- Entwicklung spezieller Hochleistungssorten, Ernte- und Vorbehandlungstechniken,

- Anpassen der Technologien an Bedürfnisse der Landwirtschaft (Nutzungsmöglichkeiten für Nebenfrüchte und Mischkulturen, keine Beeinträchtigung der Düngewirtschaft).

Die Rohstoffbasis bildet im OPAL Projektrahmen landwirtschaftliche Biomasse. Forstbiomasse oder organische Restbiomassen, die nicht direkt aus der Landwirtschaft stammen, werden nicht berücksichtigt.

Biotreibstoffe der ersten Generation (Raps-Methylester, Bioäthanol) werden in die weitere Betrachtung nicht einbezogen, da sie als ein technologischer Zwischenschritt aufgefasst werden, der nur zur Vorbereitung der Märkte für die Treibstoffe der 2. Generation sinnvoll waren und wegen des Fortschreitens des Standes der Technik nicht mehr Eingang in mittelfristige Planungsmodelle finden sollen.

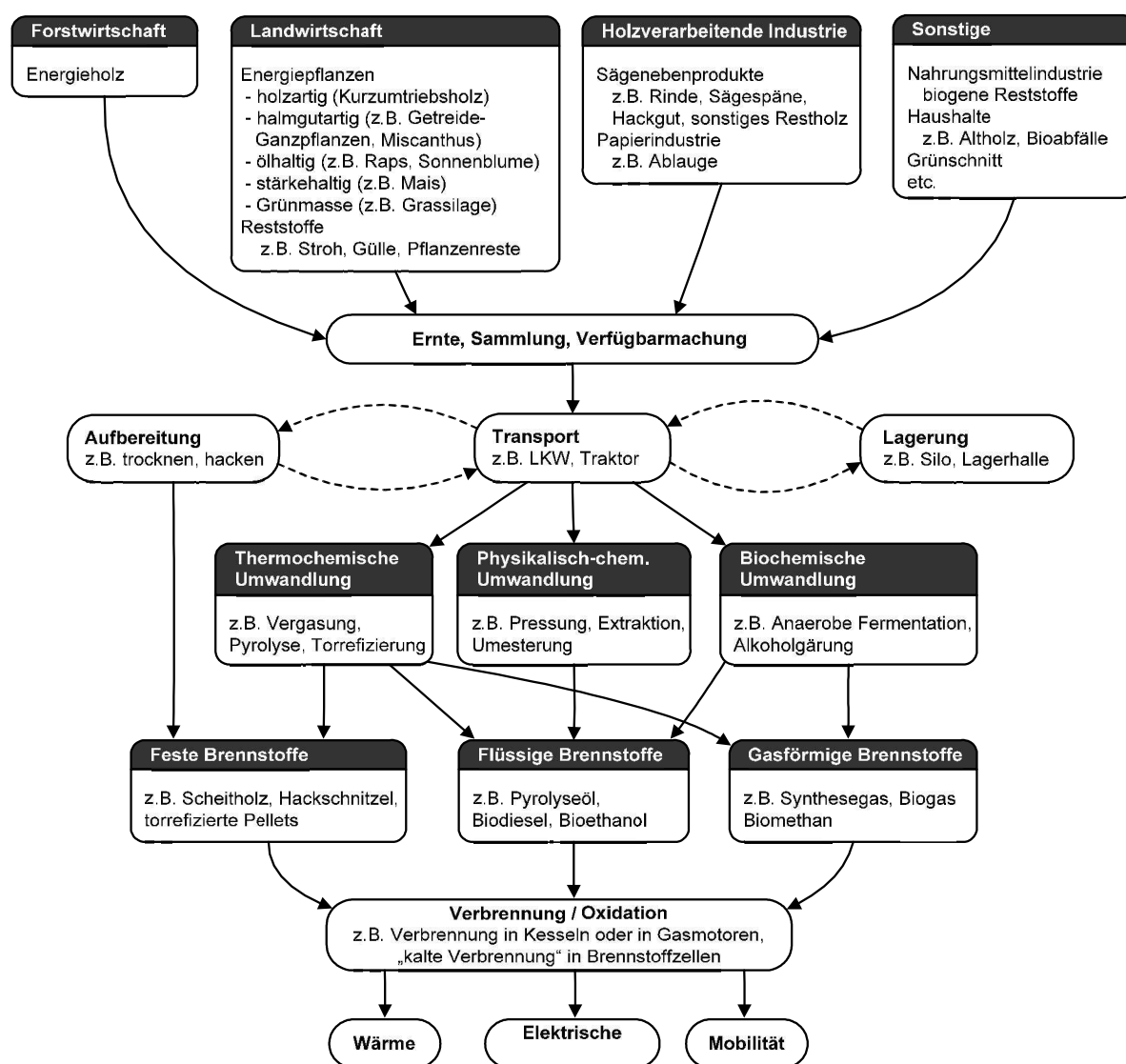


Abbildung 13: Überblick zur energetischen Nutzung agrarischer Rohstoffe (Kalt et al. 2010)

3.3.1 Wärmeherzeugung

Wärmeerzeugung ist die älteste Form der Energieerzeugung aus Biomasse. Einzel- oder Kaminöfen dienen der direkten Beheizung der Umgebung. Heizkessel einer Zentralheizung versorgen über Wasser als Wärmeträger mehrere Räume oder Gebäude mit thermischer Energie zur Raumwärme- und Warmwasserbereitung.

3.3.1.1 Anlagentypen

Kleinf Feuerungsanlagen

Einzelöfen haben in der Regel eine thermische Leistung von einigen kW. Scheitholz und Holzpellets sind die derzeit üblichen Brennstoffe. Die Leistung von typischen Heizkesseln in Zentralheizungssystemen reichen von einigen kW bis über 100 kW. Neben Scheitholz und Holzpellets kommen in erster Linie die biogenen Brennstoffe Hackschnittzel, Pflanzenöl, Getreidekorn, Pellets aus Stroh und andere Rohstoffe in Frage. Hackgutanlagen werden üblicherweise erst ab einer Leistung von etwa 30 kW eingesetzt.

Bei Stückholz-, Pellets-, Hackgut- und Pflanzenölkesseln handelt es sich um ausgereifte Technologien. Die Beschickung von Stückholzkessel erfolgt in der Regel manuell, die moderneren Anlagen sind als Holzvergaserkessel ausgeführt. Bei Hackgut-, und Pelletkesseln erfolgt die Beschickung automatisch mit einer Schneckenaustragung, einer Saugaustragung oder über einen Vorratsbehälter. Die Nutzung von Pflanzenöl ist mit normalen bzw. geringfügig adaptierten Ölkesseln mit pflanzenöлтаuglichen Brennern möglich.

Beim Einsatz von landwirtschaftlichen Rohstoffen wie Getreide oder Strohpellets in Kleinf Feuerungsanlagen können Probleme wie Korrosion und Verschlackung auftreten. Außerdem können sich rechtliche Probleme hinsichtlich der Einhaltung von Emissionsgrenzwerten ergeben. Sowohl die rechtlichen Hemmnisse als die technischen Herausforderungen sollten jedoch in Anbetracht der seit einiger Zeit laufenden Forschungs- und Entwicklungsarbeit in absehbarer Zeit gelöst werden.

Heizwerke und industrielle Dampferzeugungsanlagen

Biomasse-Heizwerke bestehen aus einem Brennstofflager und einer Heizzentrale zur Wärmeherzeugung (Heizkessel, Brennstoffbeschickung, Wasseraufbereitung, Abgasreinigung, Steuerungstechnik etc.) die an ein Nah- oder Fernwärmenetz angeschlossen ist.⁸ Zur Abdeckung von Schwach- und Spitzenlast und zur Erhöhung der Ausfallsicherheit können zusätzlich Heizöl- oder Erdgaskessel vorhanden sein. Anlagen mit

⁸ Der Begriff „Nahwärme“ wird üblicherweise im Fall kleinerer Anlagen bzw. Wärmenetze verwendet. „Fernwärme“ hingegen bezeichnet Systeme zur Versorgung von ganzen Städten oder Stadtteilen.

Wasser als Wärmeübertragungsmedium können als Warmwassersystem (atmosphärischer Druck) bzw. Heißwassersystemen (unter Druck) ausgeführt sein. Wird Dampf als Wärmeübertragungsmedium verwendet, werden Dampfkessel eingesetzt (Panos 2007).

Der typische Leistungsbereich von Biomasse-Heizwerken liegt in der Größenordnung von wenigen 100 kW bis einigen MW. Hinsichtlich der Feuerungsart wird zwischen Rostfeuerung, Staubfeuerung, Wirbelschichtfeuerung sowie diversen Subtypen unterschieden. Sämtliche Feuerungstypen können als technisch ausgereift betrachtet werden. Für die Wahl der Feuerungsart sind in erster Linie die Art bzw. Eigenschaften des eingesetzten Brennstoffes sowie der Leistungsbereich maßgeblich.

Die Erzeugung thermischer Energie in Nah- bzw. Fernwärmesystemen und Verteilung über Wärmenetze hat den Vorteil, dass Abgase im Vergleich zu Kleinfeuerungsanlagen mit entsprechenden Technologien wesentlich besser und effizienter gereinigt werden können. Einige der wichtigsten Technologien zur Abgasreinigung sind Zyklone, elektrostatische Filter, Gewebefilter, Kiesbettfilter und Keramikfilter. Als wesentlicher Nachteil von Biomasse-Heizwerken sind die Verluste des Verteilnetzes zu nennen.

3.3.1.2 Wirtschaftlichkeit der Wärmeerzeugung aus Biomasse

Wärmeerzeugung ist im Allgemeinen die gegenüber auf fossilen Energieträgern basierenden Referenzsystemen wirtschaftlichste Form der energetischen Biomassenutzung. Im Detail ist zwischen den verschiedenen Größenordnungen zu unterscheiden. Biomasse-Kleinfeuerungsanlagen ab ca. 30 kW sind bei typischen Brennstoffpreisen der letzten Jahre in der Regel ohne Förderungen wirtschaftlich.⁹ Im kleinen und kleinsten Leistungsbereich sind Biomasseanlagen aufgrund der hohen Investitionskosten in der Regel nur bei außergewöhnlich hohen Preisen fossiler Energieträger (wie im Jahr 2008) bzw. mit attraktiven Förderungen fossil befeuerten Systemen kostenmäßig überlegen.

Biomasseanlagen weisen generell höhere Investitionskosten als Öl- und Gas-Heizsysteme auf, die jährlichen Brennstoffkosten sind jedoch deutlich niedriger. Aus dieser unterschiedlichen Kostenstruktur ergibt sich, dass Biomasseanlagen insbesondere bei einer hohen Auslastung (d.h. einer hohen Volllaststundenzahl) im Vorteil sind. Außerdem resultiert der geringere Anteil der Brennstoffkosten in einer geringeren Sensitivität der Wärmeerzeugungskosten gegenüber Schwankungen der Brennstoffpreise, was hinsichtlich der großen Unsicherheiten bezüglich der Preisentwicklungen von Energieträgern einen wesentlichen Vorteil darstellt. Darüber hinaus waren die Preise biogener Energieträger in der Vergangenheit in der Regel deutlich geringeren Schwan-

⁹ Konkret wurden für die zugrundeliegenden Wirtschaftlichkeitsanalysen ein Zinssatz von 4% und eine Abschreibedauer von zehn Jahren angenommen.

kungen unterworfen als Erdöl und Erdgas.¹⁰ Insbesondere die Preise regional gehandelter Brennstoffe wie Brennholz und Waldhackgut waren in den letzten Jahren trotz stark volatiler Ölpreise relativ stabil.

Förderungen für Biomasse-Heisanlagen werden in Österreich in erster Linie in Form von Investitionszuschüssen vergeben, welche je nach Bundesland zum Teil sehr unterschiedlich sind. Darüber hinaus ist die Wärmeerzeugung mit Biomasse steuerlich doppelt begünstigt: durch den reduzierten Umsatzsteuersatz auf Holz und den Entfall der Energieabgabe bzw. Mineralölsteuer.

Die Wirtschaftlichkeit von Biomasse-Heizwerken hängt stark von der Struktur des zu versorgenden Gebietes bzw. der Auslegung der Anlage ab. Dass es bis in die späten Neunziger Jahre des 20. Jahrhunderts in Österreich nur unzureichende Richtlinien zur effizienten Dimensionierung von Netzen und Anlagen gab, führte häufig zu mangelndem Lastmanagement und anderen Planungsmängeln, was wiederum hohe Investitionskosten und unwirtschaftlichen Betrieb zur Folge hatte. Sofern das zu versorgende Gebiet eine ausreichend hohe Wärmebedarfsdichte aufweist, stellen Biomasse-Heizwerke bei richtiger Auslegung jedoch eine ökologisch und ökonomisch sinnvolle Nutzungsart von Biomasse dar. Auf längere Sicht ist jedoch zu berücksichtigen, dass verbesserte thermische Gebäudequalität im Neubau und fortschreitende Sanierung mitunter signifikant sinkende Wärmebedarfsdichten zur Folge haben. Die Generierung von Wertschöpfungseffekten durch die meist regionale Brennstoffversorgung ist als positiver Nebeneffekt der Wärmeversorgung mit Biomasse-Heizwerken zu nennen.

3.3.2 Kraft-Wärmekopplungsanlagen

Das Prinzip von Kraft-Wärmekopplungsanlagen (KWK-Anlagen) ist die gleichzeitige Erzeugung von elektrischer Energie und Wärme in der Form von Heißwasser, Dampf oder Trocknungswärme. Aufgrund der relativ geringen elektrischen Wirkungsgrade bei der Stromerzeugung mit Biomasse ist im Sinne einer effizienten Brennstoffnutzung und einer Maximierung des ökologischen Nutzens eine sinnvolle und möglichst vollständige Nutzung der Abwärme anzustreben.

3.3.2.1 Anlagentypen

Es existiert eine große Vielfalt an KWK-Technologien. Für biogene Energieträger werden in erster Linie folgende Technologien eingesetzt bzw. kommen prinzipiell in Frage: Dampfturbinenanlagen, Heizkessel mit Stirlingmotor oder ORC-Anlage, Gasmotoren, Gasturbinen, Schrauben- und Kolbenmotoren und Brennstoffzellen.

¹⁰ Die Preisspitzen bei Holzpellets im Jahr 2006 haben gezeigt, dass auch bei biogenen Energieträgern starke Preisschwankungen möglich sind. In diesem konkreten Fall hat sich auch gezeigt, dass die Ursache für Preisspitzen bei Biomasse nicht notwendigerweise eine Korrelation mit der Preisentwicklung fossiler Energieträger sein muss.

Die Einsatzbereiche der verschiedenen Stromerzeugungstechnologien sind zum Teil sehr unterschiedlich; bei der Wahl einer Technologie sind Anlagengröße, d.h. thermische und elektrische Leistung, Art des verwendeten Brennstoffes bzw. Brennstoffeigenschaften, Jahresganglinie des Wärmebedarfs etc. die entscheidenden Parameter.

Dampfturbinen

Dampfturbinenanlagen sind die am weitesten verbreiteten Wärmekraftmaschinen und damit technisch sehr ausgereift. Beim Dampfprozess gibt eine beliebige Wärmequelle in einem Dampferzeuger Wärme an das Arbeitsmedium Wasser ab und verdampft dieses. In einer nachgeschalteten Dampfturbine wird ein Teil der Wärme in mechanische Energie umgewandelt. Die Abwärme kann als Prozesswärme und für Heizzwecke (Fernwärme) verwendet werden.

Als Brennstoff kann prinzipiell jeder Energieträger genutzt werden, der in einem Kessel verbrannt werden kann, insbesondere auch Brennstoffe mit schlechten Verbrennungseigenschaften. Die üblicherweise eingesetzten Brennstoffe sind Kohle, Erdöl, Biomasse und Müll.

Der elektrische Wirkungsgrad von Dampfturbinen ist in erster Linie von der Dampftemperatur abhängig. Die mit Biomasse erreichbaren Wirkungsgrade sind daher verhältnismäßig gering und von Anlagengröße bzw. Feuerungsart abhängig. Ein Nachteil von Dampfturbinenanlagen ist das relativ schlechte Teillastverhalten (TTM 2002).

Hinsichtlich Dampfableitung (bzw. Abwärmenutzung) wird zwischen Kondensations-, Entnahmekondensations- und Gegendruckturbinen unterschieden. Bei Kondensationsturbinen wird durch einen möglichst niedrigen Gegendruck ein maximaler elektrischer Wirkungsgrad erreicht. Die Nutzung der Abwärme ist bei diesem Anlagentyp nicht möglich. Entnahmekondensationsturbinen ermöglichen die variable Entnahme von Dampf für Fern- oder Prozesswärme. Bei kleineren Systemen bzw. konstanter Wärmenachfrage werden bevorzugt Gegendruckdampfturbinen eingesetzt, die keine bzw. nur eine geringe Variation des Verhältnisses von Nutzwärmeoutput zu Stromerzeugung zulassen.

Stirlingmotor

Der Stirlingmotor ist eine Wärmekraftmaschine, in dem ein abgeschlossenes Arbeitsmedium (Luft oder Helium) abwechselnd an einer Stelle erhitzt und an einer anderen Stelle abgekühlt wird. Durch die Kompression bzw. Expansion des Gases wird thermische in mechanische Energie umgewandelt, die wiederum über einen Generator in elektrischen Strom umgewandelt wird.

Der Stirlingmotor kann mit beliebigen externen Wärme- bzw. Kältequellen betrieben werden und eignet sich insbesondere zur Nutzbarmachung von relativ geringen Temperaturunterschieden. Mit dem Stirlingmotor kann z.B. die Abwärme des Abgases eines Heizkessels genutzt werden. Die elektrischen Wirkungsgrade sind jedoch eher moderat. Der typische Leistungsbereich liegt mit weniger als 100 kW deutlich unter je-

nem von Dampfturbinen und ORC-Anlagen. Zudem sind Lärmentwicklung und Wartungsbedarf von Stirlingmotoren sehr gering (TTM 2002), was diese Technologie für Mikro-KWK in Wohnsiedlungen interessant macht.

Prinzipiell kann der Stirlingmotor als ausgereifte Technologie betrachtet werden, eine breite Markteinführung ist in erster Linie aufgrund der hohen Investitionskosten jedoch noch nicht erfolgt.

ORC

Der ORC-Prozess (Organic Rankine Cycle) ist ein Dampfturbinenprozess, bei dem im Gegensatz zum herkömmlichen Dampfturbinenprozess organische Flüssigkeiten mit niedrigen Verdampfungstemperaturen verwendet werden. Dadurch eignet sich diese Technologie wie auch der Stirlingmotor besonders zur Nutzung von geringen Temperaturunterschieden und kann an die relativ niedrigen Verbrennungstemperaturen von Biomasse angepasst werden.

ORC-Anlagen weisen ein sehr gutes Teillastverhalten und einen geringen Wartungsbedarf auf. Der typische Leistungsbereich liegt mit etwa 300 kW bis 1,5 MW deutlich über jenem von Stirlingmotoren, und ist damit gut für dezentrale Stromerzeugung in Biomasseheizwerken kleiner bis mittlerer Größe geeignet. Aufgrund ihrer Bauweise sind ORC-Anlagen auch relativ leicht in bestehenden Heizwerken nachrüstbar (BIOS 2010). Die Investitionskosten sind im Vergleich zu anderen (konventionellen) KWK-Technologien relativ hoch.

Diesel- und Gasmotoren

Diesel- und Gasmotoren kommen in Blockheizkraftwerken (BHKWs) zur kombinierten Erzeugung von Strom und Wärme zum Einsatz. Die Verbrennungsmotoren treiben einen Generator an, die Abwärme des Motors bzw. der Abgase kann zu Heizzwecken genutzt werden. Diesel- bzw. Gasmotoren sind die üblicherweise in Pflanzenöl-, Biodiesel- bzw. Biogas-BHKWs eingesetzten Technologien.

Der Einsatzbereich von Diesel und Gasmotoren reicht von wenigen kW bis einigen MW elektrische Leistung, wobei mit Motoren größerer Leistung deutlich höhere elektrische Wirkungsgrade erreichbar sind.

Die Wartungsintervalle und die Lebensdauer der in Blockheizkraftwerken verwendeten Motoren hängen stark von der Qualität und Reinheit der verwendeten Rohstoffe ab. Bei der Verwendung von Deponiegas, Biogas aus anaerober Fermentation und Produktgas aus thermochemischer Vergasung von Biomasse ist in der Regel eine grobe Reinigung erforderlich. Im Vergleich zu fossilen Energieträgern kann durch die Verwendung biogener Energieträger der Wartungsbedarf deutlich steigen (Thomas 2007).

Weitere KWK-Technologien

Weitere für Biomasse-KWK in Frage kommende, marktreife Technologien sind: (Mikro) Turbinen, Dampfkolben- und Dampfschraubenmotoren und Brennstoffzellen. Diese

Technologien unterscheiden sich in ihren Eigenschaften wie beispielsweise Teillastfähigkeit, Geräuschentwicklung, elektrische Wirkungsgrade (insbesondere bei geringen Anlagengrößen) oder Wartungsaufwand zum Teil erheblich von konventionellen Technologien, was sie mitunter für Spezial- oder Nischenanwendungen interessant macht.

Eine weitere Möglichkeit der Stromerzeugung bzw. KWK mit Biomasse besteht in der Zufeuerung zu fossilen Energieträgern. Dadurch können biogene Energieträger auch in Großkraftwerken mit höheren elektrischen Wirkungsgraden genutzt werden. Feste Biomasse kann entweder direkt oder indirekt (nach vorheriger Vergasung) in Kohlekraftwerken zugefeuert werden (siehe IEA Bioenergy 2010), oder in Form von „virtuellem“ (eingespeistem) Biomethan in Gas- bzw. Gas- und Dampfkraftwerken.

3.3.2.2 Wirtschaftlichkeit von Biomasse-KWK

Bei der Stromerzeugung mit Biomasse ist in der Regel nur unter Inanspruchnahme von Förderungen (derzeit hauptsächlich in Form von Einspeisetarifen) wirtschaftlicher Betrieb möglich. Ausnahmen stellen beispielsweise Anlagen der Holzverarbeitenden Industrie dar, wo über die Nutzung von Restholz bzw. Sägenebenprodukten eine äußerst günstige Brennstoffversorgung sowie ein hoher Wärmebedarf gegeben ist.

Hinsichtlich Betriebsweise bzw. Auslegung von KWK-Anlagen wird zwischen strom- und wärmegeführtem Betrieb bzw. strom- und wärmeorientierter Auslegung unterschieden (TTM 2002). Im ersten Fall stehen die Erzeugung bzw. Bedarfsdeckung mit elektrischer Energie im Vordergrund; die anfallende Abwärme wird (wenn überhaupt) nur teilweise genutzt. Wärmeorientierte Auslegung bzw. wärmegeführter Betrieb sind hinsichtlich ökologischer Kriterien und hinsichtlich einer effizienten Brennstoffnutzung weitaus sinnvoller. Da Biomasse-KWK in der Regel nur bei relativ hohen Förderungen wirtschaftlich ist, sind die Förderbedingungen so zu gestalten, dass ein möglichst effizienter Betrieb der Anlagen erreicht wird. Der im österreichischen Ökostromgesetz vorgeschriebene Mindestwirkungsgrad von 60% zielt in diese Richtung ab.

Bei der Auslegung einer KWK-Anlage sind zahlreiche Faktoren zu berücksichtigen. Zur Erreichung möglichst geringer Stromerzeugungskosten ist eine möglichst hohe Volllaststundenzahl erforderlich; hinsichtlich *economies of scale*¹¹ sind große Anlagen zu bevorzugen (sofern nicht wie im Ökostromgesetz für kleinere Anlagen höhere Förderungen festgeschrieben sind). Der optimale Fall eines relativ konstanten ganzjährigen Wärmebedarfs ist in der Regel allenfalls bei industriellen Anlagen gegeben. In anderen Bereichen (z.B. Heizwerken) weist der Wärmebedarf meist große saisonale Schwankungen auf. In diesen Fällen ist eine Auslegung der KWK-Anlage zur Deckung der Grundlast sinnvoll. Die Deckung von Mittel- und Spitzenlast kann mithilfe weiterer Kes-

¹¹ „Positive Skaleneffekte“, d.h. in der Regel sinken die spezifischen Stromerzeugungskosten ceteris paribus mit zunehmender Anlagengröße.

sel erfolgen, wobei für die Mittellast unter Umständen Biomassekessel, für Spitzenlast in der Regel nur Öl- und Gaskessel in Frage kommen. Wärmespeicher ermöglichen einen Ausgleich von Lastspitzen. Deren sinnvolle Auslegung ist ebenfalls ein wesentlicher Punkt bei der Anlagenplanung.

3.3.3 Konversionsanlagen

Unter Konversionsanlagen werden hier Technologien zusammengefasst, mit denen biogene Primärenergieträger in einen Sekundärenergieträger umgewandelt werden. Der Schwerpunkt liegt dabei auf Technologien zur Erzeugung von Kraftstoffen für Mobilität, wenn auch die Sekundärenergieträger ebenso für die Strom- und/oder Wärmeerzeugung eingesetzt werden können.

Hinsichtlich der Umwandlungsprozesse kann zwischen thermochemischen, physikalisch-chemischen und biochemischen Konversionsprozessen unterschieden werden (Kaltschmitt et al. 2009). Zur Gruppe thermochemischer Prozesse gehören beispielsweise Vergasung, Pyrolyse oder Torrefizierung¹². Physikalisch-chemische Umwandlungsprozesse sind beispielsweise die Gewinnung von Pflanzenöl aus Ölsaaten durch Pressung und Extraktion sowie die bei der Biodieselproduktion darauf folgende Umesterung. Biochemische Umwandlungsverfahren beinhalten die anaerobe Fermentation wie sie in Biogasanlagen von statten geht oder die Alkoholgärung in Ethanolanlagen.

Weitere Möglichkeiten zur Einteilung von Biomasse-Konversionsprozessen beinhalten die Klassifizierung nach der Art bzw. chemischen Beschaffenheit des eingesetzten Biomasse-Rohstoffes (z.B. holzartig/ölhaltig/halmgutartig/stärkehaltig) oder des Endproduktes (z.B. fest/flüssig/gasförmig).

Die im Folgenden dargestellten Konversionsverfahren beinhalten die nach Ansicht der Autoren für Österreich bzw. (Mittel-) Europa relevanten Biomasse-Konversionsverfahren. Eine vollständige Liste der weltweit verfügbaren bzw. im Entwicklungsstadium befindlichen Umwandlungstechnologien wäre an dieser Stelle weder möglich noch sinnvoll (siehe auch Haas et al. 2008).

3.3.3.1 Anlagentypen

Im Folgenden werden Anlagen bzw. Prozesse zur Erzeugung von Pflanzenöl, Biodiesel, Ethanol aus zucker-, stärke- und zellulosehaltigen Rohstoffen, Biogas (bzw. Biomethan) sowie von synthetischen flüssigen und gasförmigen Energieträgern aus thermochemischer Vergasung, insbesondere Fischer-Tropsch-Diesel, beschrieben. Biogene Kraftstoffe aus zellulosehaltiger Biomasse (synthetische Kraftstoffe und Ethanol aus

¹² Unter Torrefizierung werden Verfahren zusammengefasst, bei denen die spezifische Energiedichte eines Rohstoffs durch thermische Behandlung bei relativ niedrigen Temperaturen und unter Luftabschluss erhöht wird.

zellulosehaltigen Rohstoffen) werden üblicherweise unter dem Begriff „Biokraftstoffe der zweiten Generation“ („2nd generation biofuels“) zusammengefasst.

Pflanzenölgewinnungsanlagen

Pflanzenöle werden durch mechanische Pressung und mittels Extraktionsverfahren aus Ölpflanzen gewonnen. In kleinen dezentralen Ölmühlen, welche zumeist im landwirtschaftlichen Umfeld betrieben werden, werden mechanische Pressen verwendet (üblicherweise Schneckenpressen). In industriellen Großanlagen wird das Pflanzenöl nach Zerkleinerung, Konditionierung und Vorpressung der Saat durch Lösungsmittlextraktion gewonnen, was eine höhere Ölausbeute zur Folge hat. Die in zentralen Ölmühlen gewonnenen Öle sind daher in der Regel heißgepresste, mit Lösungsmitteln extrahierte und raffinierte Pflanzenöle, während in dezentralen Anlagen kaltgepresste Pflanzenöle erzeugt werden, deren Qualität stark von der Art des Abpress- und Reinigungsvorgangs abhängig ist (Remmele 2007).

Damit Pflanzenöle als Kraftstoffe in konventionellen Dieselmotoren verwendet werden können, bedarf es technischer Anpassungen, was in erster Linie an der höheren Viskosität von Pflanzenölen im Vergleich zu fossilem Diesel liegt.

Biodieselanlagen

Die Umwandlung vom Pflanzenöl zu Biodiesel erfolgt durch den Prozess der Veresterung. Dabei wird das in pflanzlichen Ölen und tierischen Fetten enthaltene Glycerin durch einen anderen Alkohol (meist Methanol) ersetzt. Dadurch wird eine im Vergleich zu Pflanzenöl niedrigere Viskosität, und damit eine bessere Eignung für moderne Dieselmotoren erreicht. Hinsichtlich der chemischen Eigenschaften ist Biodiesel fossilem Diesel sehr ähnlich. Beimischungen zu fossilem Diesel von bis zu 5% sind problemlos möglich, bei höheren Biodieselanteilen sind in der Regel Anpassungen der Kraftstoffleitungen und Motordichtungen notwendig.

Biodieselanlagen weisen im Vergleich zu anderen Anlagen zur Erzeugung biogener Kraftstoffe relativ niedrige Investitionskosten auf. Aufgrund der jedoch verhältnismäßig teuren Rohstoffe sind die Erzeugungskosten von Biodiesel auch sehr sensitiv gegenüber Schwankungen der Agrarpreise.

Ethanolanlagen

In konventionellen Ethanolanlagen werden zucker- oder stärkehaltige Rohstoffe zu Ethanol (Alkohol) umgewandelt. Der Konversionsprozess basiert auf dem biochemischen Prozess der alkoholischen Gärung, bei dem Zucker mit Hilfe von Hefen zu Alkohol umgewandelt wird. Zuckerhaltige Rohstoffe können diesem Prozess nach einer Aufbereitung (Reinigung, Zerkleinerung, Extraktion des Zuckerrohsaftes durch Wasserdampf) zugeführt werden. Bei stärkehaltigen Rohstoffen muss die Stärke vor dem Gärprozess durch eine enzymatische Aufbereitung in Zucker umgewandelt werden (Schmitz et al. 2003).

Bei der Ethanolherzeugung aus Zuckerrüben entstehen als Nebenprodukte Rübenschnitzel und Schlempe, die als Futtermittel und zur Düngung verwendet werden können. Bei der Erzeugung aus Mais oder Weizen kann aus der Schlempe das Eiweiß-Futtermittel DDGS (Distillers Dried Grains with Solubles) hergestellt werden.

Österreichs einzige Bioethanolanlage im niederösterreichischen Pischelsdorf verfügt über eine Produktionskapazität von 240.000 m³ Ethanol pro Jahr (ca. 190.000 t/a). Die bei voller Auslastung anfallende Menge an Futtermittel (Markenname „Actiprot“) beläuft sich auf 170.000 t/a.

Die Produktion von Ethanol aus zucker- und stärkehaltiger Biomasse ist technisch ausgereift, während für die Erzeugung aus zellulosehaltigen Rohstoffen (Holz, Stroh etc.) bis dato nur Versuchs- / Pilotanlagen bestehen. Das Aufbrechen der chemischen Verbindungen zellulosehaltiger Rohstoffe in fermentierbaren Zucker ist über noch nicht großtechnisch verfügbare Vorbehandlungsprozesse möglich. Derzeit befinden sich verschiedene Konzepte im Teststadium; welche davon in absehbarer Zeit großtechnisch umsetzbar sind, ist schwer abschätzbar. Üblicherweise wird davon ausgegangen, dass erste Großanlagen in fünf bis zehn Jahren errichtet werden (vgl. FNR 2009; IEA 2008).

Biogasanlagen – Anaerobe Fermentation

In Biogasanlagen werden organische Substrate in einem biologischen anaeroben Vergärungsprozess in ein methanhaltiges Gas umgewandelt. Dabei übernehmen unterschiedliche, auf die jeweiligen Nährstoffe spezialisierte Mikroorganismen den Abbau der Biomasse. Das so gewonnene Gas wird im Regelfall in Blockheizkraftwerken (BHKWs) zur Erzeugung von Strom und Wärme eingesetzt. Das Rohbiogas kann aber auch nach diversen Reinigungs- und Aufbereitungsschritten in lokale Mikronetze oder bestehende Gasnetze eingespeist werden, und so als „virtuelles“ Biogas (d.h. als Erdgassubstitut, auch „Biomethan“) zur Stromerzeugung in Großkraftwerken, zur Wärmeerzeugung oder als Kraftstoff genutzt werden. Speziell bei der Nutzung als Kraftstoff sind vergleichsweise hohe Werte (gegenüber Bioethanol und Biodiesel) für erzielbare PKW-Kilometer je Hektar energetisch genutzter landwirtschaftlicher Fläche erreichbar (Stiegler 2010a).

Für die Herstellung von Biogas sind grundsätzlich folgende Prozessstufen erforderlich: Ein Substratlager, eine Substrataufbereitung zur Vorbehandlung des Substrates (ev. Entfernung von Störstoffen, Zerkleinerung, Homogenisierung), ein Fermenter (dort erfolgt die anaerobe bakterielle Zersetzung der Biomasse), ein Biogasspeicher und ein Lager für den Gärrest.

Ein wesentlicher Vorteil der anaeroben Fermentation ist, dass Substrate mit hohem Wassergehalt, insbesondere auch biogene Abfälle und Reststoffe genutzt werden können. Als Nachteil der dezentralen Nutzung in BHKWs sind die relativ geringen elektrischen Wirkungsgrade sowie der oftmals nicht gegebene Wärmebedarf zu nennen. Bei der Einspeisung können diese Nachteile umgangen werden, jedoch sind die spezifi-

schen Kosten der Aufbereitung und Einspeisung insbesondere bei kleinen Anlagen relativ hoch. Außerdem ist die Standortwahl bei Biogasanlagen generell, und Anlagen zur Einspeisung im Speziellen von großer Bedeutung, da der Transport der Substrate aufgrund der geringen Energiedichten nur über relativ kurze Entfernungen wirtschaftlich ist.

Die Technologie der anaeroben Fermentation kann ebenso wie die dezentrale Nutzung in BHKWs als ausgereift betrachtet werden. Die Technologie der dezentralen Biogasaufbereitung und -einspeisung ist weniger ausgereift, ihr wird jedoch von manchen Experten ein großes Potenzial zugeschrieben. In Deutschland und Österreich sind in den letzten Jahren zahlreiche derartige Anlagen in Betrieb gegangen (siehe Biogaspartner 2010 bzw. Kalt et al. 2010), wobei mehrere unterschiedliche Reinigungs- und Aufbereitungstechnologien zum Einsatz kommen (siehe z.B. Klinski 2006).

Thermochemische Vergasung

Thermochemische Vergasung von Biomasse bezeichnet die möglichst vollständige Umwandlung eines biogenen Energieträgers in eine gasförmige, oxidierbare Verbindung, ein so genanntes Produktgas. Dessen Hauptbestandteile sind Wasserstoff, Kohlenmonoxid und diverse unerwünschte Begleitstoffe; die Anteile variieren je nach Vergasungskonzept, Vergasungsmedium und Rohstoff.

Zur Vergasung wird die Biomasse in einen Reaktor eingebracht. Dabei werden dem Prozess ein sauerstoffhaltiges Vergasungsmittel (z. B. Luft, Sauerstoff, Wasserdampf) und Wärme zugeführt. Die Reaktortypen können in Festbett-, Wirbelschicht- und Flugstromreaktoren unterteilt werden. Am unteren Ende der Leistungsskala sind Festbettvergaser angesiedelt. Diese können je nach Bewegungsrichtung von Brennstoff und Vergasungsmedium in Gleichstrom- und Gegenstromvergaser unterteilt werden. Bei Wirbelschichtvergasern weist das Vergasungsmedium eine höhere Strömungsgeschwindigkeit auf, sodass sich im Reaktor eine Wirbelschicht bildet und sich die Feststoffteilchen in Bewegung und Durchmischung befinden. Die größten Anlagen werden als Flugstromreaktoren ausgeführt; die Anforderungen an Brennstoffqualität und -homogenität sind bei diesem Reaktortyp am größten (Vogel et al. 2006).

Die Möglichkeiten der weiteren Nutzung bzw. Aufbereitung von Produktgas sind vielfältig. Für die Nutzung in KWK-Anlagen ist in der Regel nur eine relativ wenig aufwendige Reinigung erforderlich. Durch aufwändigere Reinigungs- und Veredelungsprozesse können hochwertige flüssige oder gasförmige Kraftstoffe erzeugt werden, z.B. Fischer-Tropsch-Diesel (siehe unten), Methanol, Biomethan (Erdgassubstitut, „SNG“, „synthetic natural gas“), Wasserstoff oder DME (Dimethylether). Für die Nutzung von SNG als gasförmigen Kraftstoff ist eine Verdichtung („CNG“, „compressed natural gas“) oder eine Verflüssigung („LNG“, „liquefied natural gas“) erforderlich (ReFuel 2010).

Fischer-Tropsch-Anlagen

Produktgas aus der thermochemischen Vergasung kann mit Hilfe der Fischer-Tropsch-Synthese in einen flüssigen Kraftstoff umgewandelt werden. Durch die Auswahl und Steuerung des Prozessablaufes können die Eigenschaften des produzierten Kraftstoffes genau an die gestellten Anforderungen angepasst werden. Bei Fischer-Tropsch-(FT-) Diesel handelt es sich um einen synthetischen Kraftstoff, der sich in Bezug auf die chemischen Eigenschaften an fossilem Diesel orientiert. Daher kann dieser Kraftstoff, der oft als BtL-Kraftstoff („Biomass-to-Liquid“) bezeichnet wird, ohne Modifikationen in bestehenden Dieselfahrzeugen verwendet werden und eignet sich auch zur Beimischung zu fossilem Diesel (vgl. Schmitz 2006).

Obwohl der Fischer-Tropsch-Prozess zur Verflüssigung von Kohle bereits seit den 1920er Jahren bekannt ist, ist die Technologie für Biomasse als Rohstoff noch nicht ausgereift. Es bestehen bisher nur Pilotanlagen (z.B. Choren Industries, Freiberg).

Pyrolyse

Pyrolyse bezeichnet die thermische Zersetzung eines organischen Stoffes unter Luftabschluss. Entsprechend der Geschwindigkeit mit der das Edukt erhitzt wird unterscheidet man zwischen langsamer oder Flash-Pyrolyse. Während die langsame Pyrolyse aus Wirtschaftlichkeitsgründen zentrale Großanlagen erfordert, ist die Flash-Pyrolyse in dezentralisierter Form möglich, so dass mehrere Pyrolyseanlagen z.B. einer zentralen Fischer-Tropsch-Anlage zuliefern. Dieses Modell entspricht der Demonstrationsanlage des FZK (Forschungszentrum Karlsruhe). Die Referenzanlage für die langsame Pyrolyse ist die Anlage in Freiberg in Sachsen (Choren-Verfahren).

In beiden Verfahren werden Pyrolyseöl, -koks und -gas zu Anteilen von etwa 70, 10, und 20% (abhängig von Verfahren, Temperatur und Einsatzmittel) erzeugt. Hauptprodukt ist also das Pyrolyseöl, das aus einer Vielzahl organischer Verbindungen besteht und einen hohen Wasseranteil besitzt (20-30%). Eine direkte Verwendung von Pyrolyseölen in BHKWs ist möglich, jedoch ist aufgrund des hohen Wasseranteils ein adaptierter Motor nötig und mit einem geringeren Wirkungsgrad zu rechnen.

In einem weiteren Prozessschritt kann die Gewinnung von Slurry aus Pyrolyseöl und -koks erfolgen und die Verarbeitung zu einem Synthesegas, das vorwiegend aus Wasserstoff und Kohlenmonoxid besteht.

Aus dem Synthesegas kann das folgende erzeugt werden:

- **Methanol:** Dieses ist theoretisch auch als Fahrzeugtreibstoff einsetzbar, in der Regel wird es aber zur Veresterung von Rapsöl (Erzeugung des Kraftstoffzusatzes Rapsmethylester) verwendet – eine solche Verwendung ist also ein Konglomerat von Biotreibstoffen der ersten und der zweiten Generation. Weiters ist die Beimischung zu Fahrzeugtreibstoffen direkt oder nach Aufarbeitung möglich, wird aber aus Kostengründen in Europa wenig angewandt. Methanol kann zum Betrieb in Brennstoffzellen in ein sehr wasserstoffreiches Gas und CO₂ aufgespalten werden.

Direkt Methanol betriebene Brennstoffzellen sind möglich, stehen aber erst am Anfang der Entwicklung. Methanol ist natürlich auch als Industriewertstoff vermarktbare, z.B. um das derzeit (z.B. in der Formaldehyderzeugung) in großen Mengen aus Erdgas erzeugte Methanol zu substituieren.

- eine Vielzahl von **Treibstoffen** nach der Fischer-Tropsch-Methode (Diesel, Benzine, Kerosin, Dimethylester)
- niedrige **Olefine** (Propylene, Butylene, Etylene) nach der Fischer-Tropsch-Methode. In Güssing im Burgenland wird nach der FT-Methode ein Gas zur Beimengung in das Erdgasnetz synthetisiert.
- **Reingas** zur Beimengung in Erdgasnetze oder als hochwertiges Leuchtgas bzw. zum Betrieb von Gasnetzen ohne Erdgasanteil.
- Grundsätzlich ist das Synthesegas zum direkten Einsatz in Fahrzeugmotoren geeignet.

Als Rohstoff wird vornehmlich Holz herangezogen, jedoch ist auch die Verwendung von biogenen Abfällen oder Stroh – bei ähnlicher Ölausbeute aber höherem Wasseranteil – möglich. Bei letzterem sind aufgrund der inhomogenen Struktur technologische Anpassungen nötig, für die noch Versuchs- und Forschungsarbeit geleistet werden muss.

3.3.3.2 Wirtschaftlichkeit von Konversionsanlagen

Beim derzeitigen Preisniveau fossiler Energieträger ist die Erzeugung von biogenen Kraftstoffen ohne Förderungen, steuerlichen Begünstigungen bzw. ohne Einpreisung externer Effekte über CO₂-Steuern und ähnliches in der Regel nicht wirtschaftlich (Stand: Juni 2010). Dass etwa Biodiesel oder der Kraftstoff E85 (85-prozentiger Ethanolkraftstoff) in Österreich zu konkurrenzfähigen Preisen angeboten werden können, liegt daran, dass biogene Kraftstoffe von der Mineralölsteuer befreit sind. Des Weiteren haben vorgeschriebene Beimischungsquoten für einen zunehmenden Anteil am Kraftstoffverbrauch gesorgt.

Da die Erzeugungskosten von biogenen Kraftstoffen aus Ackerfrüchten (Biodiesel, Ethanol, Pflanzenöl) in erster Linie von den Rohstoffkosten abhängen, ist die zukünftige Wirtschaftlichkeit dieser Kraftstoffe hauptsächlich davon abhängig, wie sich Agrarpreise im Verhältnis zum Rohölpreis entwickeln werden. Ob biogene Kraftstoffe in absehbarer Zeit ohne massive steuerliche oder sonstige energiepolitische Begünstigung gegenüber fossiler Energieträgern wirtschaftlich produziert werden können, ist zu bezweifeln. In Zeiten hoher Ölpreise beobachtete Preisspitzen bei landwirtschaftlichen Erzeugnissen (wie im Jahr 2008) geben jedenfalls Grund zur Annahme, dass eine tendenziell zunehmende Korrelation zwischen Energie- und Agrarpreisen besteht (siehe z.B. auch Schmidhuber 2007), die zur Folge hat, dass biogene Kraftstoffe in der Produktion zumindest nicht billiger werden.

Bei der Nutzung biogener Rest- und Abfallstoffe (z.B. Biomethan aus landwirtschaftlichen Reststoffen oder Abfällen, Biodiesel aus Altöl) sind die Bereitstellungskosten in der Regel gering, da sie sich im Wesentlichen auf die Kosten für Sammlung und Transport beschränken. Ob die Erzeugung von Kraftstoffen aus Abfällen wirtschaftlich ist, hängt von Faktoren wie der Aufkommensdichte, den erforderlichen Reinigungs- und Aufbereitungsprozessen, der Anlagengröße und natürlich dem Energiepreisniveau ab. Aufgrund der in der Regel relativ geringen Aufkommensdichten sind die Erzeugungskapazitäten bei für Abfälle und Reststoffe ausgelegten Anlagen meist relativ klein, was spezifisch höhere Anlagenkosten mit sich bringt.

Der Hauptvorteil von Kraftstoffen der zweiten Generation gegenüber konventionellen Ackerfrüchten wird in der Verbreiterung der Rohstoffbasis gesehen. Da Fischer-Tropsch-Diesel, Zellulose-Ethanol und sonstige synthetische Kraftstoffe aus forstlichen Ressourcen, Stroh etc. produziert werden können, ist eine geringere Kopplung der Erzeugungskosten an Agrarpreisentwicklungen bzw. an die Preise fossiler Energieträger gegeben.

Derzeitige Kostenabschätzungen für großtechnische Produktionsanlagen von FT-Diesel oder Zellulose-Ethanol sind mit großen Unsicherheiten behaftet. Außerdem wird bei Abschätzungen der Erzeugungskosten aufgrund der *economies of scale* meist von sehr großen Anlagen ausgegangen, die nur an Standorten mit äußerst günstiger Rohstoffversorgung realisierbar wären. Ob die Errichtung derartiger Großanlagen in Mitteleuropa, wo in der Regel relativ geringe ungenutzte Rohstoffpotenziale verfügbar sind, sinnvoll wäre, ist zu hinterfragen. Vielmehr besteht die größte Chance bei diesen Technologien in der Mobilisierung und Verwertung ungenutzter Potenziale in Regionen mit geringem Wärmebedarf. Der Transport von Kraftstoffen mit hoher Energiedichte ist schließlich auch über große Entfernungen ökonomisch machbar und – unter der Voraussetzung eines nachhaltigen Rohstoffaufkommens – auch ökologisch sinnvoll. Wenn aber regional vorhandene Biomasse dazu eingesetzt werden kann, fossile Energieträger im Wärmesektor zu substituieren, ist diese Option vorzuziehen.

Bei der Pyrolyse handelt es sich um eine relativ junge Technologie. Es sind verschiedene Verfahren und Pilotanlagen in Erprobung (siehe Abbildung 14). Die Flashpyrolyse scheint sich hierbei gegenüber der langsamen Pyrolyse durchzusetzen. Weitere wesentliche Forschungsvorhaben setzten sich mit Korrosivität, Viskosität, Lagerstabilität und Thermolabilität des Ölproduktes auseinander, die noch als Problembereiche gelten.

Overview of fast pyrolysis reactor characteristics for bio-oil production

Property	Status#	Bio oil wt%	Complexity	Feed size	Inert gas need	Specific size	Scale up
Fluid bed	Demo	75	Medium			Medium	Easy
CFB	Pilot	75		Medium			Easy
Entrained	None	65					Easy
Rotating cone	Pilot	65			Low	Small	
Ablative	Lab	75		Large	Low	Small	
Vacuum	Demo			Large	Low		
White cells show desirable characteristics Black cells show undesirable characteristics Grey cells show moderate characteristics				# Demo = demonstration (200 - 2000 kg h ⁻¹) # Pilot = pilot plant (200 - 200 kg h ⁻¹) # Lab = laboratory (1 - 20 kg h ⁻¹)			

Abbildung 14: Entwicklungsstand von Pyrolysetechnologie, Quelle: PYNE 2010

Im Wesentlichen gilt auch hier, dass Wirtschaftlichkeit wohl nur über zentrale Großtechnologien erreicht werden kann. Auch wenn eine Markteinführung über einen dezentralen Zwischenschritt erfolgt, so muss auch an eine Einfügung der Technologie in bestehende oder neu zu schaffende Logistikketten gedacht werden. Dazu sind sicher weitere Zwischenschritte notwendig: z.B. indem man mit den dezentralen Anlagen erst einmal lokal Strom erzeugt und erst dann, falls es genügend dezentrale Anlagen gibt, an eine nachgeschaltete Großanlage denken kann. Ebenso gilt es noch Standards für die Produktqualität zu schaffen.

Die relevante Größe ist auch für die Pyrolyse natürlich der Rohstoffpreis. An Großanlagen wird daher vor allem dort gedacht, wo große Mengen an ungenutzter Biomasse verfügbar sind z.B. in Kanada (Holz und Papierindustrie) oder Brasilien (Bagasse und Ernterückstände aus der Zucker/Ethanolproduktion).

Die Weiterverarbeitung des Pyrolyseöls durch Hydrocracken ist derzeit als unwirtschaftlich anzusehen und wird sich in Zukunft an der Entwicklung der Rohölpreise orientieren müssen.

3.3.3.3 Grüne Bioraffinerie

Ziel einer Bioraffinerie ist die möglichst vollständige kaskadenartige Ausnutzung aller Inhaltsstoffe der Pflanze mit Priorität für Outputs hoher Wertigkeit (downstreaming).

Indem man sich die natürlichen Säurebildungsprozesse bei Silierung zu Nutze macht und Silagesäfte getrennt von den Fasern nutzt, ergeben sich gute Ausgangsbedingungen für eine beinahe vollständige Nutzung der oberirdischen Teile von Pflanzenmassen in einer „grünen Bioraffinerie“.

Bei dem derzeit in Österreich verfolgten Konzept steht die Erzeugung von Aminosäurengemischen mit verzweigtkettigen angereicherten Aminosäuren im Vordergrund, daneben wird eine Reihe anderer Wertstoffe erzeugt (Industriechemikalien, Biokunststoffe, kosmetisch-pharmazeutische Wirkstoffe, Gärsubstrat, Futtermittel)

Prinzipien des Konzepts der Grünen Bioraffinerie sind:

- Die möglichst vollständige Nutzung von Ganzpflanzen

- der Einsatz effektiver Pflanzengesellschaften mit Fähigkeit zur Stickstoffbindung
- die Minimierung des Einsatzes fremder Betriebsstoffe in Landwirtschaft und Raffinerie
- die möglichst vollständige und dezentrale Eingliederung in Stoffkreisläufe
- hohe Energieeffizienz und niedrige Emissionen der Raffinerie.

Wirtschaftlichkeit von Grünen Bioraffinerien

Bisher sind nur Anlagen in Demonstrationsgröße bekannt z.B. in Utzenaich. Wirtschaftlichkeit ist wegen der geringen Anzahl realisierter Anlagen noch nicht gegeben. Wesentlich ist auch anzumerken, dass der Schwerpunkt dieser Raffinerien nicht auf der Energieproduktion liegen soll, sondern in der Wertstofferzeugung. Möchte man zur früheren Erreichung der Wirtschaftlichkeit die Vorteile großvolumiger Errichtung nutzen, ist zu beachten, dass damit auch für Großtechnologien allgemein geltende Transportdistanzen und Risiken verbunden sind.

3.3.4 Wirtschaftlichkeit und Marktreife

Neuen Produktionsoptionen der Energie- und NAWARO-Produktion müssen vor allem im gewachsenen Gefüge der österreichischen Kulturlandschaft ihren Platz finden, so dass wiederum ein regional optimiertes Gesamtsystem entsteht. Erschwert wird diese Aufgabe durch die sich stetig wandelnden verfügbaren Technologien und ihre unterschiedlichen Anforderungen an die Landnutzung und das sich zunehmend wandelnde Klima.

Für die Entscheidung zugunsten der Umsetzung einer Technologie müssen von Investoren und Planern eine Vielzahl von Faktoren berücksichtigt werden, die in die Bereiche Wirtschaftlichkeit, Marktreife und Betriebssicherheit hineinspielen. Als wesentlichen Aspekt gilt es auch zu berücksichtigen, dass – entgegen dem „economy of scale“ Prinzip – Anlagengrößen so bemessen werden müssen, dass Versorgungssicherheit, Transportwegoptimierung und anderen Risikoaspekte Rechnung getragen wird, damit sich ein nachhaltiges System nicht ins Gegenteil kehrt.

In Tabelle 4 findet sich nun eine stichwortartige Zusammenfassung der eben besprochenen Technologien hinsichtlich Wirtschaftlichkeit, Marktreife, Betriebssicherheit und auch Wertigkeit des Outputs.

Es zeigt sich, dass die anaerobe Fermentation von Biomasse in einer Biogasanlage wegen ihrer Vorzüge bezüglich Variabilität des Eingangssubstrates, der Produktreife und der Vielfalt der Endprodukte bei entsprechenden wirtschaftlichen Rahmenbedingungen und unter Berücksichtigung der positiven und nachhaltigen Synergieeffekte eine Zukunftstechnologie darstellt. Sie wird im Projekt OPAL als eine Basistechnologie für eine erneuerbare Energienutzung aus Zwischenfrüchten und Gras angesehen und daher weiter – auch im OPAL Softwaretool – behandelt.

Tabelle 4: Technologien zur Biomassenutzung, Stand 2010 (Quelle: ISR)

	Verbrennung	KWK		Biochemische Konversion		Physikalisch-Chemische Konversion	Thermochemische Konversion	Grüne Bioraffinerie	Biotreibstoffe der 2. Generation
		Dampfturbinen, Motoren	Stirlingmotor, ORC	Biogasanlage	Ethanolanlagen	Öl-/Dieselgewinnung	Pyrolyse		
<i>Input</i>	Biomasse (Stück-, Hackgut, Pellets), Stroh, Pflanzenöle	Breite Spanne an Biomasse	Breite Spanne an Biomasse	Breite Spanne an Biomasse	zucker-/stärke-haltige Biomasse, (zellulosehaltige Biomasse)	Ölhaltige Biomasse	zellulosehaltige Biomasse, org. Müll	Grüne Biomasse	Homogene Biomasse
<i>Wirtschaftlichkeit</i>	Zum Teil ohne Förderungen wirtschaftlich konkurrenzfähig (größenabhängig)	Abhängig von der Wärmeabnahme, tw. mäßige Wirkungsgrade, event. erhöhter Wartungsbedarf Ohne Einspeisetarife / andere Förderinstrumente i.d.R. nur unter sehr günstigen Rahmenbedingungen wirtschaftlich	Abhängig von Wärmeabnahme, hohe Investitionskosten, geringer Wartungsbedarf Ohne Einspeisetarife / andere Förderinstrumente i.d.R. nicht wirtschaftlich	Abhängig von Wärmeabnahme Gasaufbereitung teuer Ohne Einspeisetarife / andere Förderinstrumente i.d.R. nicht wirtschaftlich	Ohne Förderung / Beimischungsquote / steuerliche Begünstigungen nicht wirtschaftlich	Teure Rohstoffe, geringe Investitionskosten Ohne Förderung / Beimischungsquote / steuerliche Begünstigungen nur für Nischenanwendungen wirtschaftlich	Technologie im Vormarktstadium – keine Wirtschaftlichkeitsbewertung möglich	Technologie im Vormarktstadium – keine Wirtschaftlichkeit	Technologie im Vormarktstadium – keine Wirtschaftlichkeit
<i>Produktreife</i>	Sehr ausgereift	Sehr ausgereift	Ausgereift	Ausgereift	Stand der Technik für Zucker und Stärke, nicht für zellulosehaltige Rohstoffe	Ausgereift	Pilotanlagen, Demonstrationsanlage	Pilotanlagen, Demonstrationsanlage	Pilotanlagen, Demonstrationsanlage
<i>Werkstoff-Output</i>	Wärme	Strom, Wärme	Strom, Wärme	Treibstoff, bzw. Produktgas oder Strom und Wärme; Dünger	Treibstoff (bei Nutzung Strom, Wärme)	Treibstoff, Strom, Wärme	Treibstoff, Strom, Wärme	Milchsäureverbindungen, Treibstoff, Strom, Wärme, Dünger, Dämmstoffe, Futtermittel, Hochpreisprodukte	Treibstoff, Vielzahl von Koppelprodukten möglich
<i>Sonstiges</i>		Dampfturbinen: schlechtes Teillastverhalten	Verhältnismäßig geringe elektrische Wirkungsgrade				Fehlende Standards, Vornehmlich Verwendung von Holz		Technisch noch nicht ausgereift

3.4 Grundlagen des Pflanzenwachstums

Im Folgenden wird ein Abriss der grundlegenden Wirkungsmechanismen im System Boden – Pflanze – Atmosphäre gegeben (Auszug primär aus Eitzinger et al. 2009).

Die Wirkungen von Klimafaktoren direkt auf die Pflanze sind sehr komplex. Diese Komplexität des Zusammenspiels von Atmosphäre-Pflanze sind in folgender Abbildung schematisch vereinfacht zusammengestellt.

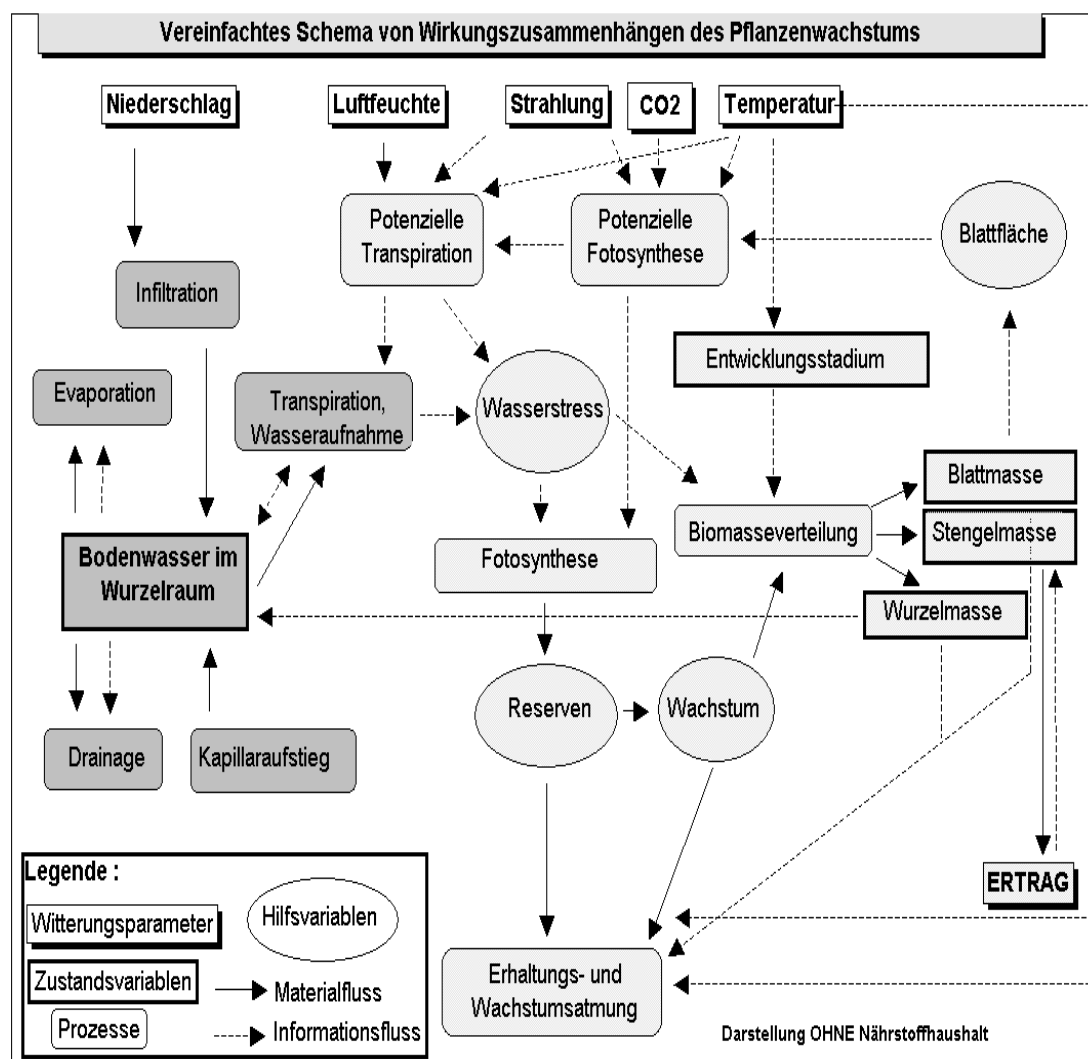


Abbildung 15 Übersicht über die wesentlichsten Wirkungszusammenhänge im System Boden-Pflanze-Atmosphäre (Eitzinger et al. 2009)

Die Fotosynthese, die Atmung und die Transpiration der Pflanze sind zentrale Prozesse beim Pflanzenwachstum. Alle drei Prozesse finden am Blatt statt.

Die Fotosynthese benötigt Sonnenenergie für die Umwandlung von Kohlendioxyd in Kohlehydrate, das aus der Luft eingeatmet wird. Die für die Fotosynthese ausgenützte

Strahlung beträgt dabei nur einen geringen Teil der gesamten solaren Einstrahlung. Die Pflanze atmet über das Blatt CO_2 ein und CO_2 aus.

Beide Prozesse, Fotosynthese und Atmung der Pflanze, sind von der Oberflächentemperatur des Blattes abhängig. Für beide Prozesse gibt es unterschiedliche Optima.

Für Keimung und Wachstum der Pflanzen sind für unterschiedliche Arten auch unterschiedliche Mindesttemperaturen erforderlich. Die Höhe der Temperatur und auch deren Dauer sind entscheidend für die Dauer der einzelnen Entwicklungsphasen der Pflanze. Man hat erkannt, dass ein großer Teil der Kulturpflanzen, z. B. alle Getreidearten, den Verlauf ihrer Wachstumsentwicklung über die Akkumulation von Temperatursummen steuert. Winterungsarten benötigen z.B. eine bestimmte Kältesumme (Vernalisation) als Voraussetzung zum Erreichen der Wachstumsphase im Frühjahr.

Die Länge der Vegetationsperiode einer Pflanze ist jene Zeitdauer innerhalb eines Jahres, die für das Wachstum zur Verfügung steht. Sie wird durch den jährlichen Temperaturgang bestimmt.

Einen der wichtigsten Faktoren für das Pflanzenwachstum stellt das Wasser dar. Es wird für die Aufnahme der gelösten Nährstoffe aus dem Boden, für deren Transport innerhalb der Pflanze und für die Wärmeregulierung der Pflanze erforderlich. Verdunstung von Wasser an der Blattoberfläche ermöglicht Kühlung derselben. Bei der Fotosynthese der Pflanze werden aus Wasser und CO_2 Kohlehydrate für das Wachstum gebildet. Die Ein/Ausatmung des Blattes wird wesentlich von einer ausreichenden Wasserbereitstellung an der Blattoberfläche bestimmt.

Klimatischer Stress wie Hitzestress infolge zu hoher Temperaturen, Wassermangel infolge mangelnden Niederschlags oder Ozon (O_3) können - einzeln oder in Kombination auftretend - die Funktionen in der Pflanze negativ beeinflussen, deren Wachstum beeinträchtigen oder sogar ein Absterben der Pflanze bewirken.

Die Wirkungen von Klimafaktoren über den Boden indirekt auf die Pflanze sind nicht weniger komplex. Abbildung 16 gibt eine schematische Darstellung der Wirkung der Atmosphäre auf den Boden und damit indirekt auf die Pflanze.

Daraus ist ersichtlich, dass diese den Kohlenstoffkreislauf als auch den Wasserkreislauf wesentlich beeinflussen und dadurch auch den Nährstoffkreislauf in Boden und Pflanze.

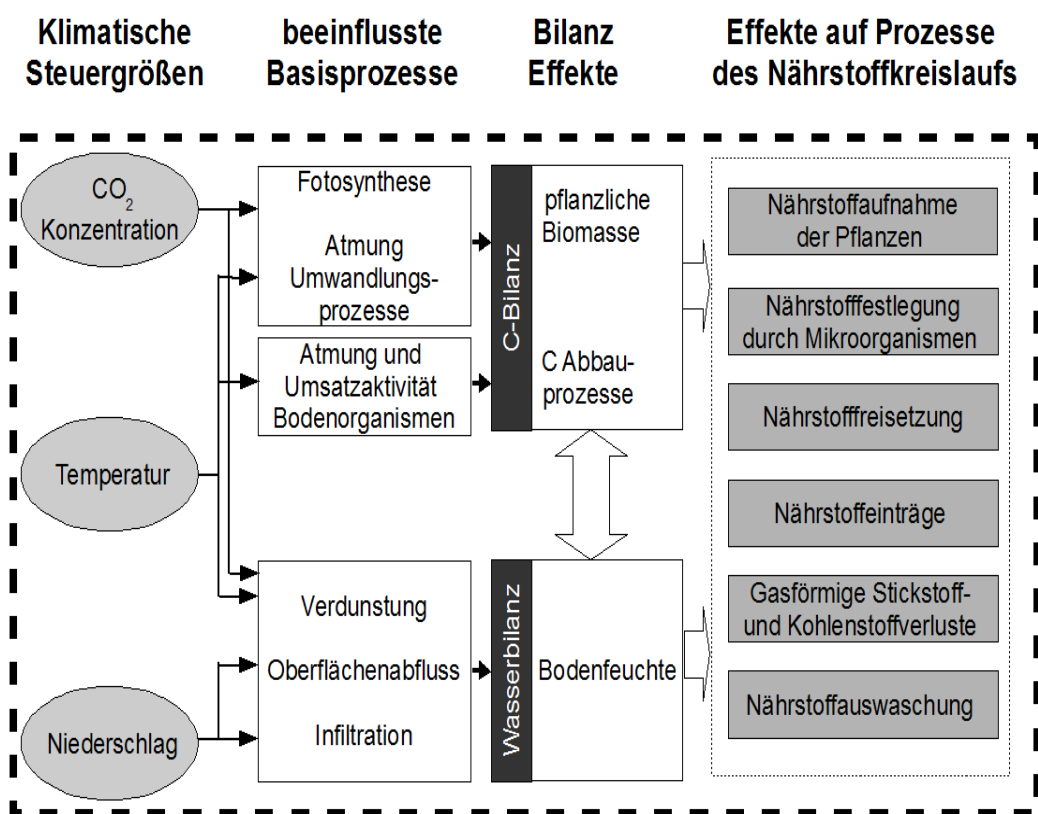


Abbildung 16: Schema von Wirkungen klimatischer Steuergrößen auf Kohlenstoff- und Wasserhaushalt sowie Prozesse des Nährstoffkreislaufs (Eitzinger et al. 2009)

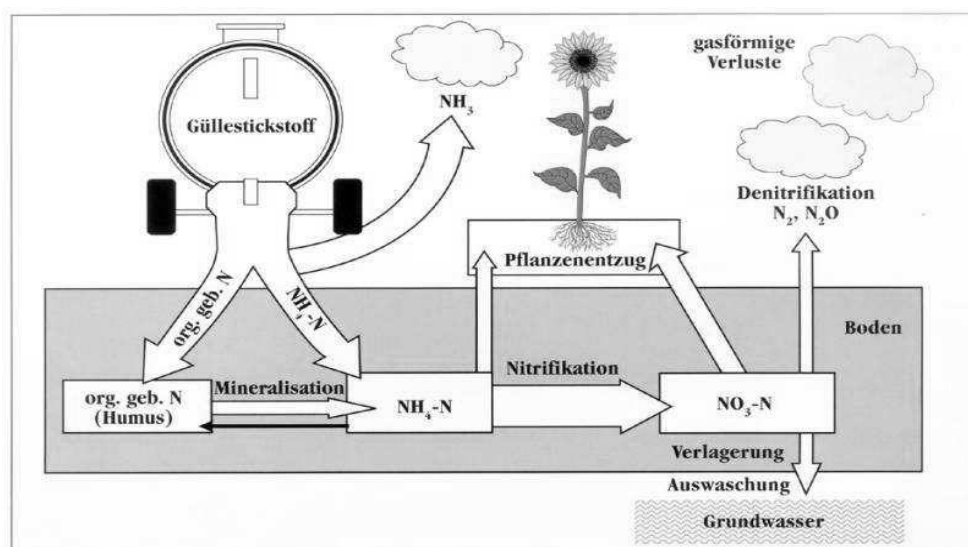


Abbildung 17: Stickstoffkreislauf (Pfundtner 2008)

Die Empfindlichkeit des Pflanzenwachstums gegenüber klimatischen Stresssituationen hängt in starkem Masse von den Eigenschaften und dem Zustand des Bodens ab. So wird ein gesunder Boden mit ausreichendem Bodenleben (ausreichender Regenwurmpopulation) und ausreichender Durchwurzelung eine Struktur aufweisen, die i.A. in der Lage ist, genügend Wasser als Bodenwasservorräte zu speichern und diese der Pflanze auch in Trockenperioden zur Verfügung zu stellen (Abbildung 17).

Die Abbildung 18 zeigt schematisch das Grundscheema der (Humus) Bilanz aus Zufuhr und Abbau organischer Substanz im Boden am Beispiel des Kohlenstoffs auf.

Der Humus mit seinen mannigfaltigen Bodenorganismen ist für das Pflanzenwachstum als Wasser- und Nährstoffspeicher essentiell. Humus ist in der Lage, Wasser gegen die Schwerkraft zu halten, was besonders bei Pflanzen auf Sandböden wichtig ist.

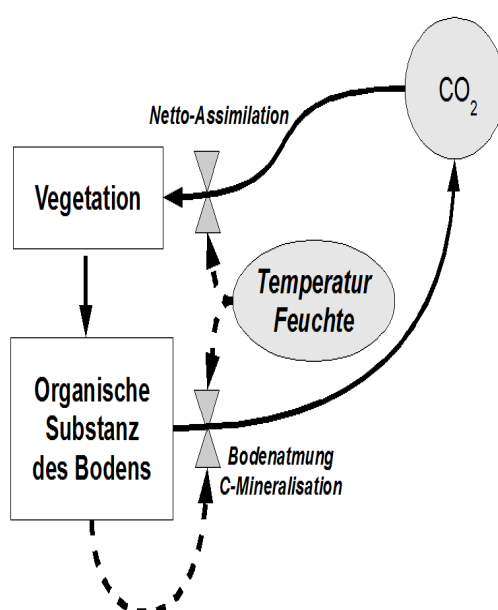


Abbildung 18: Schema der Humusbilanz aus Zufuhr und Abbau organischer Substanz (Eitzinger et al. 2009)

Bodenversalzung und Bodenerosion durch Wind oder Wasser sind Faktoren, die sich nachteilig auf den Boden und damit auf die Pflanze auswirken können. Bodenversalzung kann auftreten, wenn die Verdunstung höher ist als die Niederschläge.

Winderosion kann besonders im Frühjahr bei der Aussaat und auf sandigen Böden ein Problem sein.

Wassererosion tritt häufig dort auf, wo der Boden nicht mehr in der Lage ist das Wasser aufzunehmen und zu speichern. Dies kann dann bei unvollständiger oder fehlender Bodenbedeckung zu oberflächlichem Bodenabtrag und anderswo zu Verschlämmungen führen.

Die Art der Landnutzung (z.B. lange Brachzeiten nach dem Abernten einer Hauptfrucht oder rasche Bodendeckung durch neuen Bewuchs) beeinflusst wesentlich die Höhe

der Freisetzung klimarelevanter Treibhausgase (CO_2 , N_2O (Lachgas) oder CH_4 (Methan)) aus dem Boden. Je schneller die „offene Wunde“ des Bodens durch Bewuchs geschlossen wird, umso weniger Emissionen treten auf.

Die in Betracht zu ziehenden agrarischen Flächentypen sind Acker und Grünland.

Die oben genannten negativ wirkenden Effekte auf den Boden können bei Ackerflächen am stärksten ins Gewicht fallen. Dauergrünlandflächen sind diesbezüglich weniger anfällig, da diese i.a. immer mit Gras bedeckt bzw. durchwurzelt sind.

Gras auf Dauergrünland ist über die ganze Vegetationsperiode im Wachstum. Der Ertrag und die Qualität sind jedoch sehr vom Niederschlag abhängig. Gute Erträge können mit einem Jahresniederschlag von 800 mm erwartet werden.

Die Zusammensetzung der Grasarten des Grünlandes hängt von der Bewirtschaftung ab, der Schnitthäufigkeit, Düngung und Düngehäufigkeit.

Mehrschnittflächen (mehr als drei) sind durch Trockenheit gefährdeter als solche mit geringerer Schnittzahl, da der Bestand über Boden mehrfach abgeerntet wird und ausreichende Beschattung durch dichten Bewuchs weniger lang anhält.

Trockenschäden im Grünland sind eine Erfahrung besonders niederschlagsarmer Jahre (z.B. 2003).

Bezüglich der Ackerbewirtschaftung verlangt der Klimawandel eine durchgehende Flächennutzung während der gesamten Vegetationsperiode durch einen Bewuchs wie z.B. eine Zwischenfruchtkultur nach Hauptfrucht aus einem Gemisch ertragsicherer, trockenresistenter und feuchteverträglicher Pflanzen in spezifischer Fruchtfolge.

Außerdem sollte die Bearbeitung des Ackerbodens eine schonende sein.

Auf dem Grünland ist anzunehmen, dass sich ein Klimawandel sowohl bezüglich Flächenertrag als auch Grasqualität negativ auswirken kann. Intensive Grünlandnutzung dürfte sich damit nur in niederschlagsreicheren Regionen weiter behaupten können.

3.5 Zusammenfassung Kapitel 3

Kapitel 2 gibt unter anderem einen Überblick über die agrarische Flächennutzung in Österreich.

Von besonderer Relevanz für das Projekt OPAL sind dabei die Ackerflächen, auf welchen der Getreidebau erfolgt, sowie die Flächen des Grünlandes.

Die Getreideflächen betrugen im Jahr 2008 für Brotgetreide ca. 360.000 ha und für Futtergetreide ca. 470.000 ha. Die Flächen für Brotgetreide sind potenziell zur Gänze sowie auch die frühräumenden Futtergetreideflächen für den Energiepflanzenanbau als Sommer-Zwischenfrucht nach Getreide-Hauptfrucht geeignet.

Die Grünlandflächen betragen ca. 2,4 Millionen ha. Diese Flächen sind potenziell für eine Raufutterbereitstellung und/oder für eine energetische Nutzung geeignet. Derzeit

liefert ein Anteil von 55% der Grünlandflächen (nämlich das sogenannte Wirtschaftsgrünland) ca. 75% des jährlichen Futteraufkommens für die Raufutter verzehrenden Tiere.

Die Grünlandflächen, auf welchen eine serielle Nutzung durch Futter- und anschließender energetischer Bewirtschaftung in einer Vegetationsperiode stattfinden könnte sind eher in den Gunstlagen des Wirtschaftsgrünlandes zu finden. Auf welchem Prozentsatz der Grünlandflächen diese kombinierte Bewirtschaftungsart erfolgen könnte, kann jedoch ohne Befragung der Landwirte nicht angegeben werden.

In einem anderen Unterkapitel des Kapitels 2 werden die zur Verfügung stehenden Technologien zur Nutzung agrarischer Rohstoffen diskutiert und bewertet. Die Evaluierung der einzelnen Technologien ergab letztendlich, dass die Biogastechnologie wegen ihrer Diversität an Produkten, ihrer Bewährtheit und nicht zuletzt wegen ihrer Synergieeffekte für Boden und Pflanze als die nachhaltigste erscheint. Sie wurde deshalb auch als geeignetste Technologie bei der Optimierung der Schnittstelle zwischen agrarischer Landnutzung und Verwertung erneuerbarer agrarischer Energieträger in dem Projekt OPAL herangezogen.

In weiteren Unterkapiteln werden die für das Verstehen des Inhaltes erforderlichen Grundlagen der Meteorologie und des Klimawandels und jene des Pflanzenwachstums dargelegt, soweit diese von Relevanz für das Projekt OPAL sind.

Außerdem wird auf die Referenzgrünlandflächen eingegangen, die im Projekt OPAL für die agrarmeteorologische Modellierung herangezogen wurden.

4 Ergebnisse und Schlussfolgerungen

Die „Biogasproduktion aus Zwischenfrüchten und Gras“ ist die nachhaltigste, umweltschonendste, und effektivste Form der landwirtschaftlichen Energiebereitstellung, deren Potenzial kalkulierbar und durch agrarmeteorologische Modellierung prognostizierbar ist.

Die genannte Biogasproduktionsweise vermag das System Boden – Pflanze – Klima bei „guter landwirtschaftlicher Praxis“ positiv zu beeinflussen.

Das beschriebene Bewirtschaftungssystem stellt eine wesentliche Klimawandel Anpassungsstrategie in der Landwirtschaft dar.

Neben anderen Erneuerbaren Energieformen kann diese Art der Biogasproduktion auch wesentlich dazu beizutragen, die Abhängigkeit von fossilen und nuklearen Brennstoffen zu reduzieren.

4.1 Entscheidungskriterien

Im Folgenden wird auf die einzelnen Kriterien eingegangen, die für die Wahl der Energieproduktion auf Basis der Biogastechnologie im Projekt OPAL ausschlaggebend waren (siehe auch Tabelle 4).

Die Biogastechnologie ist bereits sehr gut ausgereift. Es existiert eine praktizierte Diversifikation bezüglich der Ausgangsprodukte aus der Anaeroben Vergärung, welche sind:

- ❑ Biogas – BHKW – Strom (Netz) / Wärme (Netz)
- ❑ Biogas – Gasreinigung – Biomethan – Gasnetz / Treibstoff (Tankstelle)
- ❑ Biogasgülle (Dünger)

Es ist die Kompatibilität von Nahrungs-/Futtermittelproduktion und Energieproduktion auf derselben Fläche möglich, wobei die Nahrungs-/Futtermittelproduktion vor der Energieproduktion steht (Primäres Ziel 1).

Diese Kompatibilität wird durch optimierte serielle Flächennutzung, die Flächenkonkurrenz von Nahrungs-/Futtermitteln und Energiepflanzen unterbindet, ermöglicht und garantiert.

Der Einsatz unterschiedlicher Pflanzen für Nahrungs-/Futtermittelerzeugung und Energieerzeugung verhindert eine Preiskonkurrenz (Primäres Ziel 2) – Nahrungs- und Futtermittelpreise werden nicht vom Preis der Zwischenfrucht-Energiepflanzen beeinflusst.

Acker- und Grünlandflächen sind für Nahrungs-/Futtermittelproduktion gesichert sowie i.a. auch die Erträge. Damit sind aber auch die Flächen für die Energiepflanzen gesichert und damit das Biomethan-Potenzial der Energiepflanzen. Dies ermöglicht eine bessere Planbarkeit von Biogas-Anlagen für Biogas Nutzer.

Die Substrate der Zwischenfrüchte vom Acker und von Gras des Grünlands bilden die Basis zur „Fütterung“ der Biogasanlage. Reststoffe und Co-Substrate aus der Landwirtschaft stellen mögliche Zusatzsubstrate dar.

Es ist „gute landwirtschaftliche Praxis“ auch für den Energiepflanzenbau mit herkömmlichen landwirtschaftlichen Geräten machbar und notwendig.

Durch die Düngung der agrarischen Flächen für die Nahrungs-, Futtermittel- und Energieproduktion mit Biogasgülle ist eine Kreislaufwirtschaft mit geschlossenem Nährstoffkreislauf möglich.

Die Biogasbewirtschaftung von agrarischen Flächen bewirkt mehrere Synergieeffekte:

- Verbesserung der Wasserspeicherfähigkeit,
- Steigerung der Bodendeckung und Bodennutzung durch Energiepflanzenanbau innerhalb der Vegetationsperiode nach Nahrungs-/Futtermittelanbau,
- Vermeidung von langen Brachezeiten nach Nahrungs-/Futtermittelernte ,
- Erhalt der Kulturlandschaft und der ländlichen bäuerlichen Struktur.

4.1.1 Marktreife der Technologie / Betriebssicherheit

Technologisch kann die Biogastechnologie als ausgereift betrachtet werden. Bereits aus Tabelle 4 ist ersichtlich, dass die Produktreife als gut einzuordnen ist. Auf dem Markt findet sich bereits eine Vielzahl von Anbietern, deren Angebote von Einzelkomponenten bis hin zu Komplettanlagen reichen. Ein großer Markt findet sich in Deutschland, wo mit Mitte 2010 bereits mehr als 5000 Biogasanlagen in Betrieb waren. Lediglich hinsichtlich der Gasaufbereitung zur Einspeisung in Erdgasnetze konnte sich noch keine „best-practice“ durchsetzen und somit ist hier noch Einsparungs- und Optimierungspotenzial vorhanden.

Wesentlich für den Erfolg des Biogases ist auch eine breite Rohstoffbasis. Es können nach entsprechender Auslegung der Anlage unterschiedliche organische Rohstoffe eingebracht werden und somit eine Abhängigkeit von speziellen Monokulturpflanzen, wie sie z.B. in der Ethanolproduktion Anwendung finden, verhindert werden.

Bezüglich der Betriebssicherheit muss gelten, dass dieselben Standards eingehalten werden wie für konventionelle Technologien. Dies gilt insbesondere für den Brand- und Explosionsschutz aber auch hinsichtlich eines möglichen Substratverlustes und damit einhergehenden Grundwasserbelastungen durch austretenden Silosickersaft.

4.1.2 Nahrungsmittelproduktion vor Energieproduktion

Das häufig erwähnte Problem der so genannten „Teller-Tank-Konkurrenz“ wird im Rahmen der Biogas-Produktion aus Zwischenfrüchten und Gras, wie sie hier vorgeschlagen wird, vollständig vermieden, da Flächen ab einem Zeitpunkt genutzt werden, ab dem Nahrungsmittelproduktion auf dem Feld nicht mehr möglich wäre, bzw. Grünlandflächen zur Futtermittelproduktion nicht mehr genutzt werden.

4.1.3 Gesicherte Verfügbarkeit der Rohstoffe

Da, wie oben beschrieben, die energetische Nutzung von Flächen der Nutzung für Nahrungsmittel nachgeschaltet ist, besteht keine Konkurrenz zwischen diesen Nutzungsformen. Da die energetisch genutzte Biomasse nicht als Nahrungsmittel eingesetzt werden könnte, besteht kein Risiko, dass sie einer anderen Verwertung als der energetischen zugeführt werden könnte, wie dies zum Beispiel bei Mais der Fall ist. Es kann daher angenommen werden, dass der Preis und die Verfügbarkeit dieser Rohstoffe nur geringen Schwankungen (z.B. aufgrund meteorologischer Faktoren) unterworfen sind.

4.1.4 Potenzial zur Schließung von Kreisläufen

Bei optimaler Durchführung des empfohlenen Bewirtschaftungsverfahrens steht ein geschlossener Rohstoffkreislauf zumindest für die energetisch genutzten Rohstoffe zur Verfügung, da die Reststoffe in Form von Biogasgülle wieder ausgebracht werden, und somit ein zusätzlicher Einsatz konventionellen Düngers für die Produktion der Energie-Biomasse i.A. nicht notwendig ist und dessen Einsatz für die Produktion der Nahrungsmittel zumindest reduziert werden kann. An Tierzuchtstandorten ist die Rückführung von Mineralien und Kohlenstoff noch günstiger als bei Zwischenfrüchten, da zusätzlich zum Gras auch Viehgülle und Mist aus der Fleisch/Milch-Produktion vergoren werden kann und somit auch diese Reststoffe rückgeführt werden können. Es ist dabei jedoch zu beachten, dass keine mit Schadstoffen belastete Viehgülle zum Einsatz kommt, und diese Schadstoffe wieder auf die agrarischen Flächen ausgebracht werden.

Entgegen früheren Vermutungen entsteht durch die intensivierete Nutzung der agrarischen Flächen kein Humusaustrag, im Gegenteil, die Humusschicht wird sogar stärker aufgebaut (siehe 4.3.1).

4.1.5 Nutzung der landwirtschaftlichen Reststoffe

Ein Vorteil der Erzeugung von Biogas gegenüber anderen Verfahren zur Nutzung von Biomasse besteht in der hohen Qualität der anfallenden Gülle als verwertbarer Reststoff. Speziell die bei Biomasse-Verbrennung anfallende Asche lässt sich nur bedingt wieder auf die bewirtschafteten Flächen ausbringen oder anderweitig nutzen. In Form von Biogasgülle erreichen die Reststoffe einen hohen Grad an Aufschluss und die Mineral- und Nährstoffe stehen Pflanzen schnell zur Verfügung. Weiters entsteht bei der anaeroben Vergärung in Biogasanlagen wesentlich besser bodenverträgliche Gülle, da diese drei für das Wachstum wesentliche Nährstoffe nämlich N-P-K enthält.

4.1.6 Nutzung anderer organischer Reststoffe aus der Landwirtschaft

Es fallen in der Landwirtschaft große Mengen organischer Reststoffe an, die prinzipiell in einer Biogasanlage als Co- Substrate mit dem Hauptsubstrat mitfermentiert werden können. Wie weit und in welcher Form der Einsatz dieser Substrate in der Biogasanlage jedoch sinnvoll und wirtschaftlich ist, hängt von der verfügbaren Quantität und der Qualität derselben ab.

4.2 Beschreibung des gewählten Verfahrens der Biogasbewirtschaftung

Im Folgenden wird nach einer allgemeinen Beschreibung der gewählten Flächennutzungsart auf dem Acker und dem Grünland auf wesentliche Bereiche der Flächenbewirtschaftung, wie Bodenbearbeitung, Aussaat und Ernte beim Zwischenfruchtbau, das Düngemanagement auf den Flächen und die Nährstoffbilanz im jeweiligen Boden eingegangen.

4.2.1 Allgemeine Beschreibung zur Flächennutzung

Eine zentrale Frage des Projektes OPAL ist die Optimierung zwischen agrarischer und energetischer Landnutzung. Dies ist einerseits durch serielle Nutzung der agrarischen Flächen während einer Vegetationsperiode zu erreichen und andererseits durch Anbau spezieller abgestimmter Energiepflanzen - Zwischenfruchtmischungen nach Hauptfrucht. Dadurch wird die Flächen- als auch Preiskonkurrenz zwischen Nahrungsmittel- und Energieerzeugung aus gleichen Kulturen vermieden.

Um hohe Trockenmasseerträge bei der Zwischenfrucht und damit die Wirtschaftlichkeit für die Energieproduktion zu gewährleisten, werden Zielvorstellungen zu Aussaat, pflanzlicher Mischung, Wachstumsperiode sowie zum Boden- und Düngemanagement definiert. Die Möglichkeit zur Zwischenfruchtnutzung ist hierbei durch die Seehöhe einerseits und die Verfügbarkeit von Wasser andererseits bestimmt.

Einen ähnlichen Ansatz zur Optimierung der Flächennutzung kann auch für das Grünland gemacht werden. Auch hier stellt die Möglichkeit serieller Nutzung eine Lösung dar, wobei die Bewirtschaftung derselben Flächen zuerst für die Bereitstellung von Raufutter für Tiere und andererseits in der Folge zur Energieproduktion optimiert wird.

4.2.2 Bodenbearbeitung und Ernte

Zum Erreichen hoher Zwischenfrucht Erträge bei gleichzeitig positiver Einwirkung auf die Bodenqualität ist ein gewissenhaftes Vorgehen bei Bodenbearbeitung, Aussaat und Ernte, d.h. gute landwirtschaftliche Praxis, von größter Bedeutung.

Bei der Bodenbearbeitung und Aussaat ist insbesondere zu beachten, dass diese möglichst noch am Tag der Ernte der Hauptfrucht oder am darauf folgenden Tag erfolgen,

um einerseits die für den Aufwuchs der Zwischenfrucht zur Verfügung stehende Zeit zu maximieren, andererseits die Zeit, in welcher der Boden unbedeckt ist, zu minimieren.

Die Bodenbearbeitung sollte bei Bedarf möglichst tief erfolgen, um vorhandene verdichtete Schmierschichten, hervorgerufen z.B. durch eine Überbeanspruchung des Bodens durch die Räder von Zugmaschinen oder Anhängern, aufzureißen und die Durchwurzelung zu verbessern, jedoch nicht übermäßig um den energetischen Aufwand in vernünftigem Rahmen zu halten. Es zeigt sich, dass eine Bearbeitungstiefe von 30 cm einen vernünftigen Kompromiss darstellt, obwohl im Einzelfall Bearbeitungstiefen von bis zu 60 cm sinnvoll sein können. Abbildung 19 stellt die Unterschiede im Aufwuchs in Abhängigkeit von der Bearbeitungstiefe dar.

Außerdem ist generell eine Bearbeitung mittels Grubber dem Pflügen vorzuziehen, da zweiteres bei den meisten Böden zu einer Reduktion der Bodenqualität führt.



Abbildung 19: Aufwuchs in Abhängigkeit von der Bodenbearbeitungstiefe (Koch 2008)

4.2.3 Düngemanagement

Die Düngung der energetisch genutzten Acker- und Grünlandflächen erfolgt mit Biogasgülle, dem Gärrest aus der anaeroben Fermentation. Dabei werden der Ausbringungszeitpunkt und die Ausbringungsmenge so gewählt, dass i.a. gerade der spezifische Bedarf an Dünger, der für das Wachstum der Pflanzen erforderlich ist, in leicht verfügbarer flüssiger Form bereitgestellt wird. Die Ausbringung der Biogasgülle für die Ackerzwischenfrucht ist vor Aussaat und auch bedarfsgerecht in den Bestand vorzunehmen.

Für den Grünlandbereich erfolgt die Biogasgülleausbringung i.a. nach jedem Schnitt und bei Bedarf ebenfalls in den Bestand. Die jeweiligen Ausbringungsmengen an Biogasgülle hängen von der Nährstoffzusammensetzung des Düngers, d.h. der Biogasgülle

ab. Im Wesentlichen sind in der Biogasgülle N-P-K enthalten (siehe NP-Faustzahlen im Annex).

Am Standort Margarethen am Moos, einem Standort für die Ertragsmessung von Zwischenfrüchten für das Projekt OPAL wurde die Nährstoffzusammensetzung des Gärrestes für untersuchte Zwischenfruchtmischungen von Hartl (Hartl 2010) und für weitere Zwischenfrüchte von Amon (Amon et al. 2010) angegeben.

Die ausgebrachten N Mengen beim Zwischenfruchtanbau betrugen i.A. 25 kgN/ha bis 40 kgN/ha.

4.2.4 Nährstoffbilanz

Zum Thema Nährstoffbilanz bei Düngung des Bodens und der Pflanzen mit Biogasgülle liegen bereits mehrere Arbeiten vor (Hartl et al. 2002, Reinhold et al. 2006, Pfundtner 2008a, Pfundtner 2009, Thaler 2007, etc.).

Es sei hier ein Zitat von Hartl (Hartl et al. 2002), wegen seiner besonderen Bedeutung auch für Böden, die energetisch bewirtschaftet sind, wiedergegeben: „Die Versorgung der Pflanzenbestände im Biolandbau geht beim Hauptnährstoff Stickstoff (N) davon aus, dass der Boden mit einem Organismus vergleichbar ist:

- Der Boden muss „gefüttert“ werden, damit er seine Leistungen vollbringt.
- In einer vielfältigen Wechselwirkung mit der Pflanze werden Nährstoffe, so auch Stickstoff, allmählich und in einem möglichst harmonischen Verhältnis aus dem Bodenvorrat freigesetzt.

Möglichst geschlossene Stoffkreisläufe dienen einerseits der Sicherung der Erträge, andererseits tragen sie zur Entlastung der Umwelt bei.“

4.2.4.1 Nährstoffbilanz auf Schlagebene für Zwischenfrüchte

In der Nährstoffbilanz auf Schlagebene, der so genannten Schlagbilanz, welche im Falle der im Projekt OPAL angeführten Zwischenfrüchte von Relevanz ist, werden die Inhaltsstoffe der Biogaspflanzen analog zu Marktfrüchten und Futterpflanzen als Abfuhr von der Fläche bewertet. Die Inhaltsstoffe der Biogasgülle stellen eine Zufuhr in der Flächenbilanz abzüglich gasförmiger N-Verluste dar.

Für die untersuchten Energiepflanzen im Zwischenfruchtanbau, welche dem Projekt OPAL zu Grunde liegen wurde von Th. Amon (Amon et al. 2010) eine Abschätzung der Nährstoffgehalte (N, P, K) in der Biogas-Gülle durchgeführt.

Die Schwankungsbreite der Stickstoffgehalte der untersuchten Varianten lag zwischen 2,0 kg/m³ (Variante 7) und 7,4 kg/m³ (Variante 15) Gärrest. Die mittleren P₂O₅ und K₂O Gehalte im Gärrest der untersuchten Zwischenfrüchte betrugen 1,3 und 5,1 kg/m³.

Die Abbildung 20 zeigt in der Übersicht die Input- und Outputgrößen, die für eine Schlagbilanz erforderlich sind.

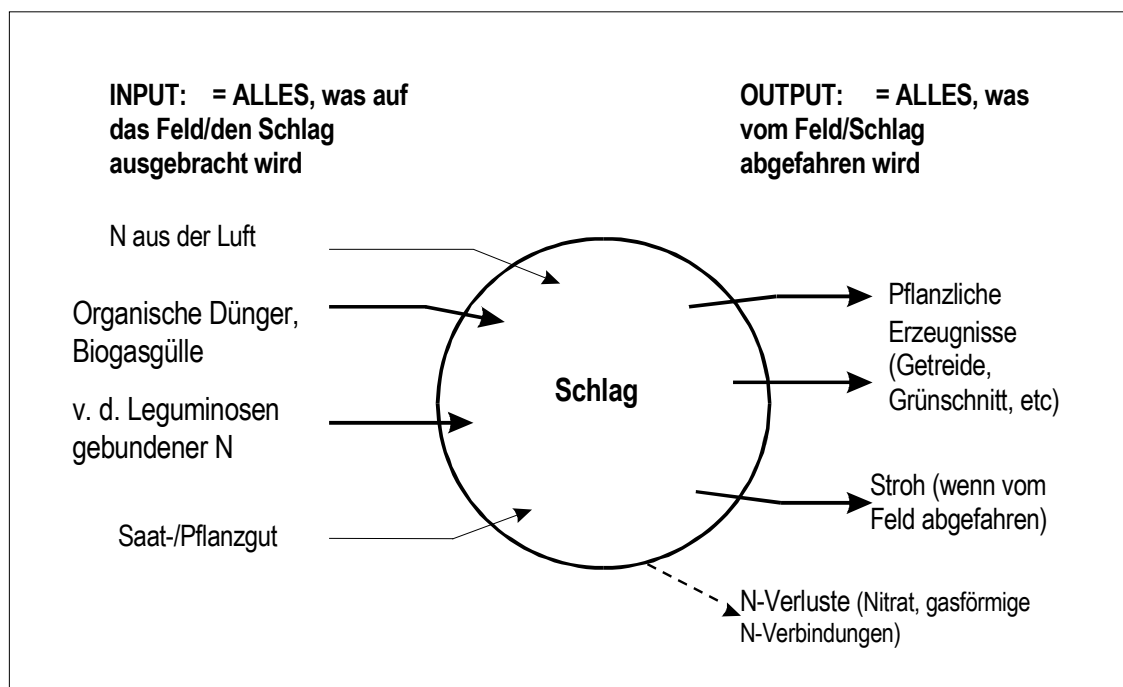


Abbildung 20: Schema einer Schlagbilanz (Input-Output-Bilanz bezogen auf einen Schlag), ausgerichtet hier für Stickstoff.(Hartl et al 2002, Biogasgülle Eintrag ISR 2010)

Die nötigen N-Gehaltswerte für die einzelnen Input- und Outputgrößen für die N-Schlagbilanz sind in der Tabelle in Abschnitt **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.** (Hartl et al. 2002) enthalten. Grobe Richtwerte zu den N- Verlusten sind der folgenden Tabelle 5 angegeben.

Tabelle 5: Bilanzgrößen für Stickstoff - grobe Richtwerte (Hartl et al. 2002)

STICKSTOFFQUELLEN kg/ha/Jahr				ENTZÜGE kg/ha/Jahr	
Klee, Leguminosen	-	Gründüngung	150	Ernten	100-200
Hauptfrucht	50-300	Wirtschaftsdüngung	100	Auswaschung	50
wurzelfreie		Oberirdische		Abgasung	30
Bodenorganismen	20	Ernterückstände	100	Erosion	50
Regen	30-50	Wurzelsrückstände	50		

Schlagbilanzsalden können ausgeglichen, negativ (=Unterschuss) oder positiv (=Überschuss) sein. Die Umwelteinträge (N-Eintrag aus der Luft über Staub und Regen) und -austräge (Verluste) stellen einen Unsicherheitsfaktor dar, da sie vom Standort abhängen, wie natürlich auch der N-Vorrat im Boden. Nur sehr grob und wiederum standortspezifisch kann das Ausmaß der N-Mineralisierung (N-Freisetzung über den Abbau leichter verfügbarer N-Anteile im Boden) abgeschätzt werden.

Auch wenn bestimmte Größen oft nur geschätzt werden können, kann die N-Schlagbilanz eine wichtige Orientierung geben, wie es mit dem N-Kreislauf auf dem jeweiligen Feld über die gesamte Fruchtfolgerotation bestellt ist.

Es sollte Ziel für OPAL Nachfolgeprojekte sein, Nährstoffdaten zu liefern, die eine Bilanzierung der einzelnen Nährstoffe bei Zwischenfruchtanbau in der Fruchtfolge ermöglichen.

4.2.4.2 Gras

Als Beispiel für die Nährstoffbilanz und den Nährstoffkreislauf einer Biogasanlage im Grünland wird die Studie "Ökologische Auswirkungen der Biogasanlage in Prad auf Nährstoffflüsse und Nährstoffversorgung der Wiesen- und Obstkulturen" von Florian Thaler herangezogen (Thaler 2007).

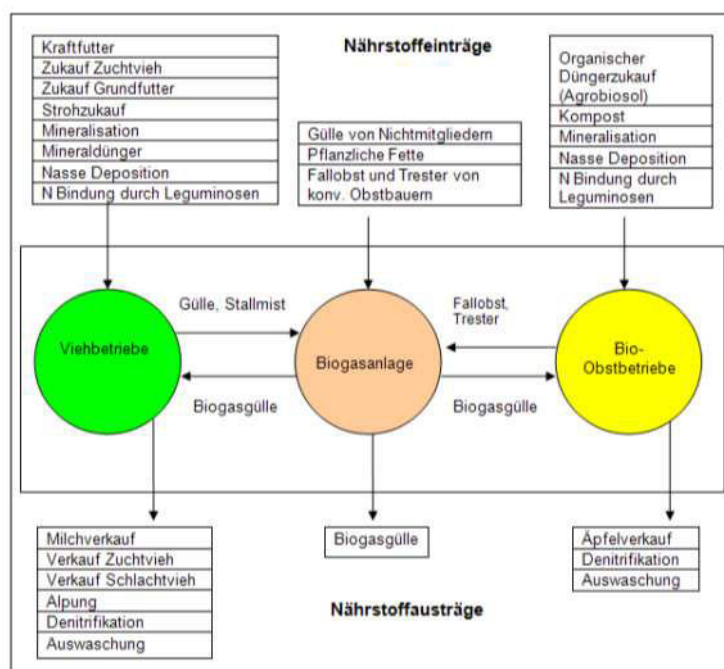


Abbildung 21: Nährstoffkreislauf, -analyse einer Biogasanlage, sowie der direkt und indirekt beteiligten Betriebe im Jahr 2006 (Thaler 2007)

In Abbildung 21 sind die Nährstoffkreisläufe rund um die Biogasanlage dargestellt. Für die Viehwirtschafts- und Bio-Obstbaubetriebe sind jeweils die Nährstoffeinträge und Nährstoffausträge in Form einer Hoftorbilanz dargestellt. Beide Kreisläufe sind über die Biogasanlage miteinander verbunden. Weiters gibt es noch externe Nährstoffzufuhren und -abfuhren, die in den Kreislauf der Biogasanlage eintreten bzw. ihn wieder verlassen. Der Großteil der Nährstoffe in der Biogasanlage kommt aus abgelieferter Gülle und Festmist der Mitgliedsbetriebe. Nur ein minimaler Prozentsatz an Nährstoffen gelangt durch das Fallobst und die Apfeltrester der Bio-Obstbauern in die Anlage. Über die Hälfte der Nährstoffe verlassen die Anlage wieder in Richtung Mitgliedsbetriebe

und der Rest geht an Nichtmitgliedsbetriebe. Die Bio-Obstbaubetriebe holen ein Vielfaches ihrer in die Anlage eingebrachten Nährstoffe in Form von Biogasgülle ab.

Betrachtet man den Humusgehalt der mit Biogasgülle gedüngten Böden, so liegt dieser im Schnitt bei 12% auf den Grünland- und 5,3% auf den Obstbauböden. Beide Werte liegen über dem anzustrebenden Mindestgehalt. Die untersuchten Oberflächengewässer weisen, bei der in der Region vorherrschenden Düngung, Trinkwasserqualität auf. Die Austräge ins Wasser sind bei allen Parametern sehr gering. Es ist kein Unterschied zwischen den sechs Oberflächengewässern, die durch Grünland fließen und jenem der durch Obstbauflächen fließt zu erkennen.

Für die Berechnung der Hoftorbilanz auf den Viehwirtschaftsbetrieben werden nur jene Nährstofffrachten berücksichtigt, die den Betrieb verlassen bzw. in den Kreislauf des Betriebes eintreten. Die Nährstoffzufuhren auf die einzelnen Betriebe wurden durch den Zukauf von Kraftfutter, Heu, Grassilage, Silomais, Stroh, Mineraldünger, Zuchtvieh, der Rückfuhr von Biogasgülle aus der Biogasanlage und der Futteraufnahme der Tiere auf der Alm berechnet. Die Nährstoffabfuhren ergeben sich aus dem Verkauf von Milch, Schlachtvieh, Zuchtvieh, Obst, den Almausscheidungen und der abgelieferten Gülle an die Biogasanlage Prad. Die Nährstoffsalden auf den 37 Viehwirtschaftsbetrieben zusammen betragen 28 kgN/ha, 5 kgP/ha und 24 kgK/ha (vgl. Tabelle 6). Berücksichtigt man beim Stickstoff noch weitere Zu- und Abfuhren (biologische N-Bindung, nasse).

Deposition, Denitrifikation und Auswaschungen), dann steigt der durchschnittliche N-Saldo auf 38 kg/ha. Fließen neben den Zu- und Abfuhren für die Hoftorbilanzen auch die internen Kreisläufe (PÖTSCH 1998) aller 37 Viehwirtschaftsbetriebe (anfallender Wirtschaftsdünger, produziertes Grundfutters) in die Berechnung mit ein, errechnet sich ein negativer N-Saldo von -18 kg/ha (mit biologischer N-Bindung, nasser Deposition, Denitrifikation und Auswaschung kommt man auf einen N-Saldo von -8 kg/ha), P-Saldo -29 kg/ha und K-Saldo -13 kg/ha.

Im Raum Prad haben 3/5 der Viehwirtschaftsbetriebe und 2/3 der Betriebsflächen einen positiven und 2/5 der Betriebe und 1/3 der Betriebsflächen einen negativen N-Saldo (vgl. Tabelle 7).

Tabelle 6: NPK-Saldo der Viehwirtschaftsbetriebe (Thaler 2007)

Nährstoffe	N	P	K
Zufuhr (kg)			
Kraftfutter	36918	5729	12731
Heuzukauf	3492	437	4190
Grassilage	111	15	127
Silomais	16	3	15
Stroh	1395	313	4328
Mineraldünger	1520	608	608
Zuchtvieh	438	108	27
Rückfuhr Biogasgülle	33179	7807	45726
Futteraufnahme Alm	5976	800	4002
Summe Zufuhr (kg)	83045	15818	71755
Zufuhr (kg/ha)	220	42	190
Abfuhr (kg)			
Milch	21025	3639	5660
Schlachtvieh	2276	561	142
Zuchtvieh	1035	255	65
Obst	24	7	92
Almausscheidungen	4952	902	6476
Abgelieferte Gülle	43033	8607	50410
Summe Abfuhr (kg)	72345	13971	62846
Abfuhr (kg/ha)	191	37	166
Saldo (Gesamtbetriebe)	10700	1847	8909
Saldo (kg/Betrieb)	289	50	241
Saldo (kg/ha)	28	5	24

Tabelle 7: N-Saldo der Viehwirtschaftsbetriebe im Jahr 2006 (Thaler 2007)

N Saldo (kg/ha)	Anzahl Betriebe	% Betriebe	Fläche (ha)	% Fläche
<-170	1	3%	1	0%
-170 bis -101	3	8%	45	12%
-100 bis -31	9	24%	70	18%
-30 bis -0	2	5%	10	3%
0 bis 30	3	8%	28	7%
31 bis 100	13	35%	168	44%
101 bis 170	5	14%	44	12%
>170	1	3%	13	3%
Summe	37	100%	378	100%

Im Bericht von Werth für Südtirol (Werth et al. 2007) wird eine Zusammenstellung für Südtirol gegeben, welche eine qualitative Beurteilung der Ergebnisse von Thaler zulässt. Die entsprechende Tabelle ist im Folgenden wiedergegeben (siehe Tabelle 8).

Tabelle 8: Beurteilung des Nährstoffsaldos

Nährstoffsaldo in kg/ha	N	P	K	Mg
Unterversorgung	< -22	< -7,8	< -35	< -2,2
Ausgeglichene Versorgung	±22	±7,8	±35	±2,2
Leichte Überversorgung	22-110	7,8-38	35-175	2,2-11
Starke Überversorgung	> 110	> 39	> 175	> 11

Als „Grüner Bereich“ gilt dabei die Grenze von $\pm 0,2$ GVE/ha. Im negativen Bereich wird von einer „Unterversorgung“ (Gelber Bereich: $< -0,2$ GVE/ha) gesprochen. Für die Überversorgung werden zwei Bereiche festgelegt: eine „leicht erhöhte Nährstoffversor-

gung“ (Violetter Bereich: 0,2-1,0 GVE/ha) und eine „stark erhöhte Nährstoffversorgung“ (Roter Bereich: > 1,0 GVE/ha).

Die Hoftorbilanz von Thaler für Stickstoff zeigt, dass für die untersuchten Höfe i.A. eine ausgeglichene Stickstoff-Versorgung durch Biogasgülle vorliegt.

4.3 Synergieeffekte des Verfahrens

Um die wesentlichsten positiven Nebeneffekte einer positiven Nährstoffbilanz anzuführen, sei in der Folge die Humusbildung erwähnt, die sich wiederum positiv auf die Bodenwasserspeicherfähigkeit und Pflanzengesundheit auswirkt.

4.3.1 Humusbildung

Bodenuntersuchungen zeigen, dass Humusaufbau durch die Menge an Restkohlenstoff in der Biogasgülle, die auf die jeweiligen Substratbereitstellungsflächen ausgebracht wird, durch verstärktes Bodenleben (Regenwurmpopulation) gewährleistet ist. (Pfundtner 2008). Außerdem wirkt sich die Auswahl einer Energiepflanzen-Zwischenfruchtmischung mit kräftiger Durchwurzelung positiv auf die Bodenstruktur und das Bodenleben aus.

Biogasgülle und Gärrückstände sind nährstoff- und kohlenstoffreiche organische Gärreste aus der anaeroben Vergärung von landwirtschaftlichen Materialien (Mais, Getreideganzpflanzen, Klee gras, Wirtschaftsdünger, etc.) und organischen Reststoffen (Speisereste, Fettabfälle, etc.) aus Biogasanlagen. Der nachhaltige und umweltgerechte Einsatz dieser Rückstände in der Landwirtschaft setzt neben einer guten landwirtschaftlichen Praxis die Kenntnis der Stoffeigenschaften dieser erst in letzter Zeit etwas weiter verbreiteten organischen Dünger voraus.

Wie jedoch Bodenuntersuchungen zeigen, ist der Humusaufbau durch die Menge an Restkohlenstoff in ligninhaltigem während der Verweildauer im Fermenter nicht vergärbaren Substrat in der Biogasgülle, die auf die jeweiligen Substratbereitstellungsflächen ausgebracht wird, durch verstärktes Bodenleben (Regenwurmpopulation) gewährleistet ist. Außerdem wirkt sich die Auswahl einer Energiepflanzen-Zwischenfrucht mit kräftiger Durchwurzelung positiv auf die Bodenstruktur und das Bodenleben aus.

Betrachtet man den Humusgehalt der mit Biogasgülle gedüngten Böden, so liegt dieser im Schnitt bei 12% auf den Grünland- und 5,3% auf den Obstbauböden (Thaler 2007). Beide Werte liegen über dem anzustrebenden Mindestgehalt. Die untersuchten Oberflächengewässer weisen, bei der in der Region vorherrschenden Düngung, Trinkwasserqualität auf.

Wie aktuelle Untersuchungen (Pfundtner 2008) zeigen, verfügen Gärrückstände aus „Abfallanlagen“ über höhere Anteile an leicht-pflanzenverfügbarem Stickstoff ($\text{NH}_4\text{-N}$) als Biogasgülle aus „NaWaRo Biogasanlagen“. Für die Düngepraxis lassen diese Untersuchungen erwarten, dass Gärrückstände aus organischen Reststoffen schneller düngewirksam sind. Andererseits ist das Stickstoffverlustpotenzial größer als bei Bio-

gasgülle aus Nawaro Anlagen. In den separierten Biogasgüllen ist der Stickstoff fast zur Gänze organisch gebunden. Die Düngewirkung des organisch gebundenen Stickstoffes ist aufgrund der komplexen Mineralisierungsvorgänge schwer abschätzbar. Der hohe Anteil organischer Substanz von fester und flüssiger Biogasgülle wirkt sich positiv auf den Humushaushalt des Bodens aus.

Folgende Abbildung 22 aus (Koch 2010) ermöglicht für durchgeführte Humusbilanzierungen (z.B. für das energetisch genutzte Grünland der Biogasanlage Reitbach, Referenzanlage für energetische Grünlandnutzung im Projekt OPAL) eine qualitative Bewertung von Böden bezüglich des Humusgehaltes.

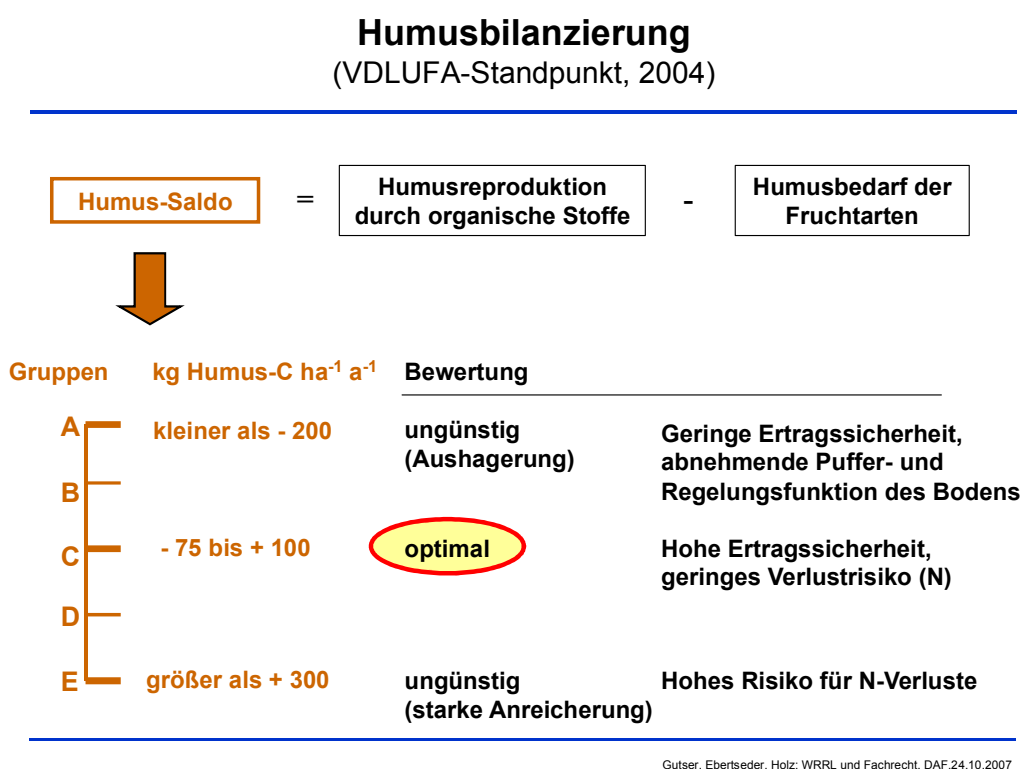


Abbildung 22: VDLUFA-Standpunkt zur Humusbilanzierung, Quelle: (Koch 2010)

4.3.2 Wasserspeicherfähigkeit

(siehe auch Hartl et al. 2002)

Es liegen derzeit noch keine wissenschaftlich durchgeführten Messungen in diesem Bereich vor. Dennoch kann auf Basis mündlicher Mitteilungen an die OPAL Projektleitung (Priedl 2010) für den Energiepflanzen - Zwischenfruchtanbau auf dem Acker eine Verbesserung der Wasserspeicherfähigkeit für Niederschläge durch verstärktes Bodenleben und stärkere Durchwurzelung erwartet werden. Dies dürfte bei entsprechender Gräserwahl auch für das energetisch genutzte Grünland zutreffen. Für das Grünland ist dabei sicherlich auch das Düngemanagement von Bedeutung.

4.3.3 Bekämpfung / Verhinderung von Schädlingen und Pestiziden

Nach Angaben von Koch (Koch 2010a) können durch die rasche Fruchtfolge auf dem Acker bei Zwischenfrüchten Fraßschädlinge keine schädigende Population entwickeln. Sie würden mehr Zeit benötigen.

Weiters kann der Herbizideinsatz eingeschränkt werden, wenn die Zwischenfrucht dementsprechend zum Sonnenlicht hin dicht macht und den Unkräutern die Lichtquelle entzogen wird. Durch die späte Aussaat der Zwischenfrüchte kommt es zwar noch möglicherweise zum Auskeimen der Unkräuter jedoch nicht zur Samenbildung. Daher ist der Unkrautdruck auf die nächstfolgende Hauptfrucht Getreide stark reduziert und dadurch erübrigt sich im Regelfall der Herbizideinsatz zur Unkrautbekämpfung.

4.3.4 Einsparung von CO₂—Emissionen

Um die Möglichkeit der Einsparung bei CO₂-Emissionen durch eine Biogasanlage zu überprüfen, wurde eine Berechnung mit GEMIS (GEMIS-DS UBA Wien) anhand eines realen Beispiels durchgeführt.

4.3.4.1 Ausgangssituation

Mittels Fragebögen wurde das Interesse an einem Fernwärmeanschluss im Gemeindegebiet von Schweiggers im nördlichen Niederösterreich erhoben, wobei auch der derzeitige durch Einzelheizungen (ZH, EO) und zukünftige Endenergiebedarf bei Fernwärmenutzung berechnet wurde. Es wurde angenommen, dass die Dauerlast (und somit auch der Warmwasserbetrieb im Sommer) mittels eines Biogas-BHKWs bereitgestellt wird, und die zusätzlich benötigten Spitzen mit einem Hackschnitzel-Kessel abgedeckt werden (siehe Tabelle 9).

Tabelle 9: Wärmebedarf des untersuchten Gemeindegebiets

Wärmebedarf	Monate	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12.Jahr
Anteil Wärmebedarf	MWh	15,5%	13,5%	12,5%	9,0%	5,5%	2,5%	1,0%	1,5%	4,0%	8,5%	11,5%	100,0%
Raumwärmebedarf	MWh	328,0	285,6	264,5	190,4	116,4	52,9	21,2	31,7	84,6	179,9	243,3	2.115,9
Warmwasserbedarf	MWh	20,0	18,0	20,0	19,3	20,0	19,3	20,0	19,3	20,0	19,3	20,0	235,1
Wärmebedarf RW+WW	MWh	347,9	303,7	284,5	209,8	136,3	72,2	41,1	51,7	104,0	199,8	262,7	2.351,0
Wärmebedarf inkl FW-Verluste	MWh	409,3	357,3	334,7	246,8	160,4	85,0	48,4	60,8	122,3	235,1	309,0	2.765,9
theor. Vollbetriebsstunden bei 500 kW/h		818,7	714,5	669,3	493,5	320,8	169,9	96,8	121,7	244,6	470,2	618,0	5.531,8
Stunden pro Monat	h	744	672	744	720	744	720	744	744	720	744	720	8.760
max. Vollbetriebsstunden bei 500 kW/h		744	672	669,3	493,5	320,8	169,9	96,8	121,7	244,6	470,2	618	5.364,8
gelieferte Wärme durch BHKW	MWh	334,8	315,8	321,3	246,8	160,4	85,0	48,4	60,8	122,3	235,1	302,8	342,2
Bedarf Holzessel Fernwärme	MWh	74,5	41,4	13,4	0	0	0	0	0	0	0	6,2	54,6
theoret. Vbh bei 600 kW Holzessel		124,2	69,1	22,3	0	0	0	0	0	0	0	10,3	91,1
													317,0

Als Warmwasseranteil am gesamten Wärmebedarf wurden 10% gerechnet. Über die Heizgradtage und die Seehöhe wurde die Verteilung des Raumwärmebedarfs der potentiellen Interessenten der Fernwärme über das Jahr ermittelt.

Es wurde ein Betrieb des BHKWs von 6.500 Jahresstunden angenommen. 5.500 Vollbetriebsstunden davon kann die Wärme für den Fernwärmebetrieb abgenommen werden. Die elektrische Leistung der KWK wurde mit 500 kW angenommen, während sich eine thermische Leistung von 526 kW ergibt. Diese kann jedoch nicht zur Gänze genutzt werden, da insbesondere in der kälteren Jahreszeit auch Wärme für den Fermenter der Biogasanlage benötigt wird.

In den Monaten November bis März müssen die Spitzen bei besonders tiefen Außentemperaturen mit der Hackschnitzel-Biomasse abgedeckt werden. Deren Bedarf wird sich aus der oben stehenden Berechnung jedoch mindestens verdoppeln, da hier noch der Wirkungsgrad der Anlage und die Verluste durch die Fernwärmeleitungen fehlen (bei Biogas bereits einberechnet). Da es sich um einen Spitzenkessel und nicht um Dauerbetrieb handelt, ist dessen Wirkungsgrad schlechter, da die Hochfahrzeiten und Auskühlzeiten häufiger als bei üblichen reinen Hackschnitzelanlagen sind.

3.419,0 MWh Wärme produziert
 371,2 MWh Wärme benötigt für Biogasanlage
 3.047,8 MWh Wärme bereitgestellt
 2.575,7 MWh Wärme genutzt

Damit ergibt sich eine thermische Leistung von 396 kW für die Wärmenutzung über das Jahr gesehen (in manchen Monaten können knapp 470 kW hinsichtlich Erzeugung und Abnahme auch genutzt werden).

Anteil Wärmebereitstellung BHKW	93,12%
Anteil Wärmebereitstellung BM-Kessel	6,88%

So können 93% des Energiebedarfs der zukünftigen Interessenten mit der Biogasanlage abgedeckt werden. (Die restlichen 7% des Bedarfs werden vermutlich durch die doppelte Menge an Energieinput über Hackschnitzel abgedeckt werden müssen.)

4.3.4.2 Definition des Ist-Szenarios (Tabelle 10)

Das Ist-Szenario stellt die Versorgung mittels Einzelheizungen (Zentralheizungen oder Einzelöfen) dar. Der Energiebedarf wird wie bisher anteilmäßig mit jenen 93% multipliziert, welche die Biogasanlage an Wärme bereitstellt.

Tabelle 10: Energieeinsatz Ist-Szenario

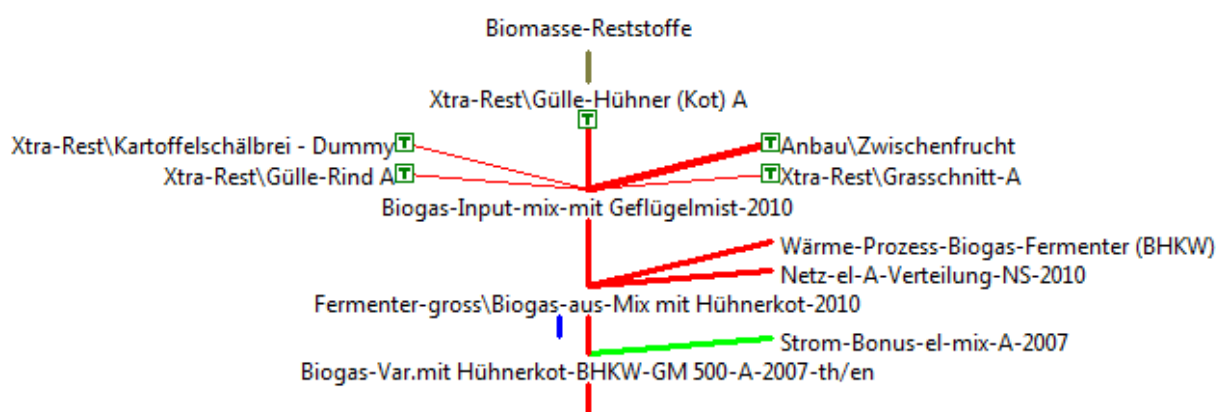
Schweggens Interessenten bisheriger Energiebedarf	MWh	Anteil ersetzt durch Biogas-BHKW	
Stückholz	253,7	236,2	9,00%
Hackschnitzel	219,0	203,9	7,77%
Heizöl Leicht	1.190,6	1.108,7	42,23%
Heizöl extra leicht	775,9	722,5	27,52%
Strom	105,8	98,5	3,75%
Flüssiggas	274,2	255,3	9,73%
Gesamt	2.819,2	2.625,2	100,00%

2.625 MWh werden durch die Biogasanlage ersetzt. Durch eine Verbesserung des Anlagenwirkungsgrades wird bei Fernwärmeanschluss nur mehr 2.351 MWh Endenergie benötigt. Dafür werden von der Biogasanlage 2.575,7 MWh an Wärme genutzt (sowie ein kleinerer Teil Wärme aus Hackschnitzeln). Es muss mehr Wärme zu Verfügung gestellt werden, da Verluste bei der Fernwärmanlage und bei den Fernwärmeleitungen ebenso abgedeckt werden müssen.

4.3.4.3 Biogas-BHKW-Varianten

Berechnet wurde die Wärmebereitstellung mit einem Koppelprozess als Strombonus. Pro genutzter MWh Wärme werden 1,066 MWh Strombonus gutgeschrieben. Der Strombonus bezieht sich auf den österreichischen Elektrizitätsmix von 2007 inklusive der Stromimporte. (GEMIS-DS UBA Wien).

Ein 500 kW_{el} Leistung Magermotor wird 6.500 Stunden im Jahr betrieben, und zwar dann, wenn Wärmebedarf vorhanden (5.500 h) und in den wärmeren Monaten mit Überschusswärme. 45,7% beträgt der thermische Nutzungsgrad, 10,8% der Wärmeproduktion wird über das Jahr gesehen für den Fermenter benötigt. Die Lebensdauer der BHKW-Anlage wird mit 15 Jahren angenommen. Auch 23,75 kWh an Strom werden vom Netz für den Betrieb bezogen, da angenommen wird, dass jeglicher produ-



zierter Strom wegen des günstigeren Ökostromtarifes auch ins Netz eingespeist wird. 160 m werden auf Niederstromebene transportiert, 12 km auf Mittelstromebene bis Gmünd und von hier erfolgt die Hochspannung ins überregionale Leitungsnetz (Verluste je Netzebene unterschiedlich).

Beispiel der Prozessketten. Ein eigener Prozess für Zwischenfrucht wurde erstellt (mit 2.696 kg TS/a Ertrag bzw. 8.733 MWh/a Energieinhalt am Hektar).

Alle weiteren Substrate wurden GEMIS entnommen, jedoch wurde für Kartoffelschälbrei ein Dummy verwendet, welcher auf „Kartoffelblatt“ aufgesetzt wurde, um ähnliche Vorprozesse zu generieren.¹³

Als Substrat werden 2 unterschiedliche Varianten angenommen.

- a) Biogasmix mit Hühnerkot und
- b) Biogasmix mit Maissilage.

¹³ Detaillierte Ausarbeitung im Rahmen der Beauftragung nicht möglich, aber auch nicht notwendig da vom Anteil her nicht so bedeutend.

Die Mischungen werden wie folgt energetisch dargestellt:

Substrat	%Mischverhältnis TS	Methanertrag in TS	Methananteil in Mischung	Prozentuell
Geflügelmist	30	315	94,5	33,15%
Rindermist	20	188	37,6	13,19%
Grassilage	10	258	25,8	9,05%
Zwischenfrüchte	30	350	105	36,83%
Kartoffelschälbrei	10	222	22,2	7,79%
Substratmischung mit Geflügelmist			285,1	
Rindermist	20	188	37,6	13,92%
Grassilage	20	258	51,6	19,10%
Maissilage	50	292	146	54,03%
Zwischenfrüchte	10	350	35	12,95%
Substratmischung mit Maissilage			270,2	

Lieferant	Anteil	Transport mit	Länge
Xtra-Rest\Gülle-Hühner (Kot) A	33,15 %	Traktor-A-2000-mittel (Schlepper)-Biogasproduktion	7 km
Xtra-Rest\Gülle-Rind A	13,19 %	Traktor-A-2000-mittel (Schlepper)-Biogasproduktion	3 km
Xtra-Rest\Grasschnitt-A	9,05 %	Traktor-A-2000-mittel (Schlepper)-Biogasproduktion	5 km
Xtra-Rest\Kartoffelschälbrei - Dummy	7,79 %	Lkw/mittel	10 km
Anbau\Zwischenfrucht	36,82 %	Traktor-A-2000-mittel (Schlepper)-Biogasproduktion	5 km
Summe	100 %		

Lieferant	Anteil	Transport mit	Länge
Xtra-Rest\Gülle-Rind A	13,92 %	Traktor-A-2000-mittel (Schlepper)-Biogasproduktion	3 km
Xtra-Rest\Grasschnitt-A	19,1 %	Traktor-A-2000-mittel (Schlepper)-Biogasproduktion	7 km
Anbau\Mais-GP-Biogasproduktion	54,03 %	Traktor-A-2000-mittel (Schlepper)-Biogasproduktion	20 km
Anbau\Zwischenfrucht	12,95 %	Traktor-A-2000-mittel (Schlepper)-Biogasproduktion	3 km
Summe	100 %		

Die Berechnung erfolgte mit GEMIS Version 4.6.

Als Jahreswärmemenge wurden bei beiden Varianten 2.575 MWh an Energie angenommen.

4.3.4.4 Ergebnisse

Treibhausgase (siehe Tabelle 11)

Die Variante Biogasanlage mit Hühnerkotmix verursacht nur 3,7% der Treibhausgase der derzeitigen Heizungsvariante unter Berücksichtigung des Strombonus durch den Koppelprozess. Der Mix mit Maissilage verursacht auch nur 9,8% der Treibhausgase des Vergleichsszenarios (Ist-Szenario).

Tabelle 11: Treibhausgas-Emissionen der verschiedenen untersuchten Varianten

Option [kg]	CO ₂ -Äquivalent	CO ₂	CH ₄	N ₂ O
Bestand Einzelheizungen ohne FW	886.738,0	870.548,1	386,1	21,9
Biogas-Fernwärme Substratmix mit Hühnerkot	32.765,1	27.452,1	74,3	11,6
Biogas-Fernwärme Substratmix mit Maissilage	87.343,0	47.043,5	140,8	123,4

Die Treibhausgase der bestehenden Heizungsvariante werden überwiegend durch CO₂ verursacht. Hier sind 75,9% durch die Heizölheizungen, 13% durch die Hack-schnitzelheizungen und 7,9% durch die Flüssiggasheizung verursacht.

Das Lachgas bei der BHKW-Maissilage-Variante wird durch die Maispflanzen zu 50,9% und durch den N-Dünger zu 39,1% verursacht.

Kumulierter Energieverbrauch KEV (siehe Tabelle 12)

Tabelle 12: KEV der verschiedenen untersuchten Varianten

Option [MWh]	Summe	nichterneuerbar	erneuerbar	andere
Bestand Einzelheizungen ohne FW	4.055,9	3.488,1	564,3	3,6
Biogas-Fernwärme Substratmix mit Hühnerkot	2.611,9	95,5	2.506,5	9,9
Biogas-Fernwärme Substratmix mit Maissilage	2.699,2	179,0	2.509,1	11,1

Kumulierter Energieverbrauch beinhaltet auch den Energiebedarf der vorgelagerten Prozesse. Nicht erneuerbare Energieträger sind fossile Energieträger und auch Kernkraft (aus den Stromimporten, Kunstdüngerproduktion etc.). Andere Energieträger sind Abwärme, Energie aus Müll und Sekundärrohstoffe.

Tabelle 13: Darstellung der wichtigsten eingesetzten Energieträger nach verschiedenen untersuchten Varianten

wichtigste Energieträger in MWh/a	Bestand Einzelheizungen ohne FW	Biogas-Fernwärme Substratmix mit Hühnerkot	Biogas-Fernwärme Substratmix mit Maissilage
Erdöl	2.979,9	49,1	70,2
Biomasse-Anbau	454,4	918,4	1.666,5
Wasserkraft	109,3	18,3	20,7
Erdgas	94,9	13,0	65,3
Steinkohle	71,1	18,8	24,4
Braunkohle	34,7	5,5	8,2
Kernkraft	14,3	9,1	11,0
Energie aus Müll	2,9	10,0	11,1
Biomasse-Reststoffe	0,4	1.569,3	821,3
Gesamt	4.055,9	2.611,9	2.699,2

Die Tabelle 13 stellt nur die wichtigsten energetischen Prozesse dar. Die Biogasvarianten sind um 35,6% bzw. 33,5% weniger energieintensiv als die bestehenden Heizsysteme ohne Fernwärme. Noch günstiger ist der geringe Anteil an nichterneuerbaren Energieträgern von 3,7% (Hühnerkotvariante) bzw. 6,6% (Maissilagevariante) im Vergleich zum Bestand mit 86%. Am meisten wird bei den Biogasvarianten gegenüber dem Bestand Erdöl eingespart. Kernkraft und Wasserkraft stammen z.B. zum Großteil aus dem Bedarf an elektrischen Strom.

Stofflicher Bedarf (siehe Tabelle 14)

Hier wird etwa auch die Graue Energie des BHKWs und des Fermenters, der Stromleitungen und Anteil etwa der Traktoren oder des Düngers berücksichtigt.

Tabelle 14: Stofflicher Bedarf bei den verschiedenen untersuchten Varianten

wichtigste Rohstoffe in kg	Bestand Einzelheizungen ohne FW	Biogas-Fernwärme Substratmix mit Hühnerkot	Biogas-Fernwärme Substratmix mit Maissilage
Wasser	93.412,3	65.461,7	315.956,2
Mineralien	16.592,5	20.631,3	87.234,5
Erze	4.804,1	282,2	362,1
Eisen-Schrott	278,1	15,7	33,0
Erdöl stofflich	60,8	33,4	26,0
Luft	48,4	7,1	10,1
Erdgas stofflich	8,4	3,5	97,8
Biomasse Reststoffe	0,0	79.681,6	332,6
Müll	0,0	-3.760,7	-4.043,8
Gesamt	115.204,7	162.356,7	400.009,4

Biomasse Reststoffe beim Substratmix mit Hühnerkot stellt die Gülle dar. Beim Substratmix mit Maissilage ist der hohe Wert der Mineralien durch Kali und Kalkstein begründet, welcher für Düngemittel Verwendung findet.

Bei den Erzen muss angemerkt werden, dass hier der Bedarf an Stahl für die Fernwärmeleitungen nicht in der Betrachtung enthalten ist und daher bei den BHKW-Varianten unterbewertet ist. Den größten Anteil hat der Wasserbedarf (in der Landwirtschaft, Maisanbau) bei den Rohstoffen.

Luftschadstoffe

Option [kg]	TOPP-Äquival	SO2-Äquival	SO2	NOx	HCl	HF	Staub	CO	NM VOC	H2S	NH3	
Bestand Einzelheizungen ohne FW	1.508,2	1.772,3	1.271,5		696,6	17,0	4,65E-001	515,2	4.137,6	197,8	4,57E-004	3,11E-002
Biogas-Fernwärme Substratmix mit Hühnerkot	678,4	530,0	154,3		529,4	0,8	4,55E-002	24,6	125,7	17,7	1,50E-004	3,37
Biogas-Fernwärme Substratmix mit Maissilage	807,6	1.035,4	190,3		622,3	1,5	6,06E-002	54,6	190,3	25,6	3,97E-004	218,24

Die Biogas-Varianten sind bei fast allen Luftschadstoffen günstiger zu bewerten als der Bestand. Einzig bei NH₃ ist insbesondere der Mix mit Maissilage deutlich höher (89% davon verursacht der Maisanbau selber, 9,8% der N-Dünger).

Feste Reststoffe

Option [kg]	Asche	REA-Reststoff	Klärschlamm	Produktionsabfall	Abraum	Müll-atomar (hochaktiv)
Bestand Einzelheizungen ohne FW	3.133,8	368,1	211,2	368,8	57.611,2	2,06E-002
Biogas-Fernwärme Substratmix mit Hühnerkot	3.170,6	142,7	3,5	489,2	31.005,4	1,12E-002
Biogas-Fernwärme Substratmix mit Maissilage	3.388,6	165,8	4,9	168.934,2	52.321,4	1,36E-002

Üblicherweise fallen bei den BHKW-Varianten weniger Reststoffe an. Einzig der Produktionsabfall bei der BHKW-Variante mit Maissilage ist deutlich höher als bei den anderen Varianten und erklärt sich zu 99,9% aus dem Abbau von Kali für die Düngemittel der Maispflanzen. Der Klärschlamm bei den Einzelheizungen (Ist-Variante) fällt zum Großteil in der Erdöl-Raffinerie an.

Abwasser

Option [kg]	P	N	AOX	CSB	BSB ₅	anorg. Salze
Bestand Einzelheizungen ohne FW	1,62E-005	1,45E-003	8,83E-006	25,43	7,14E-001	2,50E-002
Biogas-Fernwärme Substratmix mit Hühnerkot	1,47E-005	8,74E-004	1,44E-006	1,21	3,40E-002	83,95
Biogas-Fernwärme Substratmix mit Maissilage	3,89E-005	2,30E-003	3,66E-006	2,8	7,88E-002	35,811

Option [kg]	As	Cd	Cr	Hg	Pb
Bestand Einzelheizungen ohne FW	6,22E-011	1,52E-010	1,50E-010	7,59E-011	9,91E-010
Biogas-Fernwärme Substratmix mit Hühnerkot	3,89E-010	9,51E-010	9,41E-010	4,76E-010	6,20E-009
Biogas-Fernwärme Substratmix mit Maissilage	4,02E-010	9,81E-010	9,70E-010	4,90E-010	6,40E-009

Der hohe Anteil an anorganischen Salzen bei der BHKW-Variante mit Maissilage entsteht durch den Kali-Abbau.

Resümee

Generell kann die Variante Biogas-BHKW mit Fernwärmenutzung gegenüber dem Ist-Zustand an Einzelheizungen empfohlen werden.

Von den beiden Substratvarianten wäre die Variante mit Hühnerkotmix ökologischer und daher vorrangig zu empfehlen.

Die Berechnungen wurden von Dr. Horst LUNZER, Energieagentur der Regionen, Waidhofen/Thaya 2010, durchgeführt.

4.4 Nachhaltigkeitskriterien und Risikoprofil

Im Allgemeinen ist jede Form der Energiebereitstellung risikobehaftet. So sind Risiken nicht nur bei der konventionellen und nuklearen Energiebereitstellung gegeben, sondern auch bei der Bereitstellung Erneuerbarer Energie identifizierbar, so auch bei jener aus Biomasse.

Die Risiken beziehen sich generell auf soziokulturelle, ökonomische und ökologische Risiken.

Im Zusammenhang mit dem Projekt OPAL fokussiert die Betrachtung primär auf das ökologische Risiko. Soziokulturelle und ökonomische Risiken werden, wenn überhaupt, nur implizit behandelt, sofern z.B. der Boden oder das Wetter/Klima die Höhe der Biomasseerträge beeinflussen.

Auf Risiken beim Zwischenfruchtanbau wird z.B. in der oben zitierten und beschriebenen Arbeit von Aigner (Aigner et al. 2008) hingewiesen; Zitat "Trotzdem mussten beim Sommerzwischenfruchtanbau wegen Trockenheit immer wieder einzelne Jahre oder Standorte von der Verrechnung ausgeschlossen werden, so dass leicht ersichtlich wird, dass der erfolgreiche Zwischenfruchtanbau in vielen Regionen Bayerns mit einem sehr hohen Risiko verbunden ist".

Auf zusätzliche (positive) ökonomische und ökologische Nebeneffekte des Zwischenfruchtanbaus weist Koch hin (Koch 2008).

Es sind für Erneuerbare Energie aus Biomasse unter anderen in diesem Zusammenhang folgende Fragestellungen von Bedeutung:

- Energiebereitstellung im Einklang und daher ohne Konkurrenz zur Nahrungsmittelproduktion
- Beachtung der Nachhaltigkeit bei der Biomasseproduktion durch Kreislaufwirtschaft
- Biodiversität und Biomasseproduktion für Energiezwecke auf agrarischen Flächen

- Einfluss der Art und Weise agrarischer Biomasseproduktion und des jeweiligen Düngemanagements auf den Boden (Humusbilanz, Wasserspeicherfähigkeit, Bodenleben, Grundwasserqualität, Bodenerosion durch Wasser und Wind, Bodenbearbeitung, Fruchtfolge, etc.)
- Sozioökonomischer und -ökologischer Einfluss der Bewirtschaftungsarten von agrarischen Landflächen sowie Wertschöpfung in der Region
- Diversifizierung und Dezentralisierung der Energiebereitstellung durch Erneuerbare Energien

4.4.1 Risikoprofil der seriellen Acker- und Grünlandflächennutzung zur Biogaserzeugung

Im Folgenden wird das Risikoprofil für die im Projekt OPAL beschriebene serielle agrarische Flächennutzung mit Biogasproduktion entworfen. Es wird aufgezeigt, wo die Stärken und Risiken des Systems liegen und wie den Risiken begegnet werden kann (Risikomitigation).

Die graphische Darstellung der Ergebnisse erfolgt in Form eines kreiszentrierten Risikoprofils, aus welchem Stärken und Risiken sowie ein daraus resultierender Handlungsbedarf abgelesen werden können. Die qualitative Einschätzung der einzelnen Aspekte wird dabei in einer Skala zwischen +5 und –5 quantitativ veranschaulicht. Querbezüge, die durch gegenseitige Beeinflussung der einzelnen Aspekte auftreten können, werden nur in Textform behandelt.

Pistrich gibt eine sehr brauchbare Zusammenstellung der Nachhaltigkeitskriterien für das Grünland an (Pistrich et al. 2005), die hier auszugsweise wiedergegeben wird. An diesen Kriterien kann das entsprechende Risikoprofil festgemacht werden.

Ein ähnlicher Katalog von Nachhaltigkeitskriterien kann durch Modifikation der Grünlandkriterien auch für den Energiepflanzen-Zwischenfruchtanbau abgeleitet werden.

Beide Kataloge für Nachhaltigkeitskriterien werden den Abschnitten zum jeweiligen Risikoprofil vorangestellt, wodurch Risiken und deren Gegenmaßnahmen in Bezug auf die entsprechenden Nachhaltigkeitskriterien leichter bewertbar werden.

4.4.1.1 Nachhaltigkeitskriterien für das Ackerland

(modifiziert nach Grünlandkriterien in Pistrich 2005)

Ökologische Kriterien: ökologische Nachhaltigkeit

- Maximale Ressourcenschonung unter Berücksichtigung der natürlichen Produktionskräfte und Regulationsmechanismen (sparsamer Einsatz nicht erneuerbarer Ressourcen, Stoffkreisläufen)
- Möglichst geringe Beeinträchtigung der Umweltmedien Boden, Luft und Wasser; Lärmschutz

- Ausrichtung von Funktion und Nutzung des Ackerlandes an der lokalen Tragfähigkeit des Ökosystems (standort-/regionsangepasste Nutzung)
- Erhaltung des Selbstregulationsvermögens des Ökosystems Ackerland
- Erzeugung gesunder, schadstofffreier Nahrungsmittel

Soziokulturelle Kriterien: soziale Nachhaltigkeit

Derzeit keine bekannt.

Ökonomische Kriterien: ökonomische Nachhaltigkeit

- Angemessenes Einkommen für die Ackerbewirtschaftler (Rentabilität der Ackerbewirtschaftung)
- Beitrag zur Wohlfahrt der ansässigen Bevölkerung / zur Lebensfähigkeit der Region (etwa durch Schaffung von Arbeitsplätzen)
- Effizienter Einsatz öffentlicher Mittel zur Lenkung der Ackerlandnutzung

Ein Zitat aus den Badenwürttembergischen Merkblättern (Badenwürttemberg 2002) charakterisiert die Aufgabenstellung bezüglich des Bodens ebenfalls sehr gut: „Gesunde, d.h. in ihrer gesamten Tiefe unverdichtete Böden mit entsprechender Mächtigkeit der Ackerkrume sind Grundlage für die wirtschaftliche Existenz eines landwirtschaftlichen Betriebes. Deshalb ist es wichtig, die Leistungsfähigkeit des Bodens als Standort für die landwirtschaftliche Nutzung zu erhalten.“

Böden sind Lebensraum für Tiere, Pflanzen und Bodenorganismen. Sie sind Bestandteil des Wasser- und Nährstoffkreislaufs, sie haben Filter- und Puffereigenschaften. Böden dienen deshalb dem Schutz der Oberflächengewässer und des Grundwassers. Das Bodenschutzgesetz schreibt vor, Bodenverdichtungen so weit wie möglich zu vermeiden.“

4.4.2 Zwischenfrucht - Risikoprofil

Rippel gibt in seiner Präsentation (Rippel 2008) eine Zusammenstellung der Ökologischen Risiken und Gegenmaßnahmen zur Sicherung der Bodenfruchtbarkeit beim Anbau von Energiepflanzen im jährlichen Zweikulturenanbau (zwei Hauptfrüchte in einer Vegetationsperiode) an. Diese Zusammenstellung ist auch für die serielle Zwischenfrucht Flächennutzung von Relevanz, welche in dem Projekt OPAL Thema ist.

Die Zusammenstellung von Rippel wird in der Folge der Anschaulichkeit halber für eine Fruchtfolge Getreide Hauptfrucht - Energiepflanze als Zwischenfrucht verwendet und leicht modifiziert sowie bezüglich Risiken für die Pflanze als auch solchen für die Atmosphäre erweitert.

Es werden im Folgenden sowohl für die Acker- als auch für die Grünlandbewirtschaftung Risikoprofile zum Boden, zur Pflanze und zur Atmosphäre angegeben.

Risiko für Energiepflanzen Zwischenfruchtertrag

Ertragsminderung oder -ausfall wegen Trockenheit beim Zwischenfruchtanbau im Sommer

Gegenmaßnahme, Risikominderung

- Künstliche Beregnung falls vorhanden
- Winterzwischenfruchtanbau im Herbst
- Auswahl geeigneter Mischungen aus Gras und Leguminosen
- Sicherheitsreserve von Silage im Silo
- Einsatz von Substrat aus zusätzlichen Reststoffen aus der Landwirtschaft
- Silage Vorrathsaltung (technisch mehrjährig möglich (Banemann 2010), Silogrösse Kostenfaktor beachten)

Risiken für Bodenstruktur

- mehr Arbeitsgänge auf dem Feld als nur bei Hauptfrucht Anbau - kostengünstige und schlagkräftige Maschinen bei Ernte und Gärsubstratausbringung

Gegenmaßnahmen

(siehe auch Stahl et al. 2005)

- Breitreifen mit niedrigem Reifen-Innendruck (max. 1-2 bar) und Radlastbegrenzung (max. 10 t) auf dem Feld
- Anpassung der Maschinenschlagkraft an die Bodenstruktur bei Ernte, Gärsubstratausbringung und Transport

Chancen und Risiken in Bezug auf Bodenerosion

- + langer Boden-Bedeckungszeitraum
- Bodenumbruch fällt in Zeit mit hoher Regenerosivität
- generell hohes Erosionsrisiko bei nicht-konservierender Bodenbearbeitung

Gegenmaßnahmen

- konservierende (i.A. pfluglose) Bodenbearbeitung im Zwischenfrucht-Nutzungssystem
- Anhebung der Wasserspeicherfähigkeit des Bodens durch richtige Energiepflanzenmischungen mit entsprechendem Biomassepotenzial der Pflanze über und im Boden

Risiken für die Humusversorgung

(siehe auch Pfundtner 2008)

- Abfuhr der gesamten oberirdisch gewachsenen Pflanzenteile
- unzureichende Nachlieferung an organischer Substanz
- häufigere Bodenbearbeitung
- ungenügende Rückführung an organischer Substanz („Humusfalle“)

Gegenmaßnahmen

- gleichmäßiges, vollständiges sowie bedarfsorientiertes Ausbringen des Gärsubstrats (auch in den Bestand)
- Auswahl von Zwischenfruchtmischungen aus Flachwurzlern, Mitteltief- und Tiefwurzlern, Wurzeln ermöglichen Nährstoffmobilisierung, liefern zusätzliche organische Substanz zur Humusbildung und sind zusätzlicher CO₂ Speicher
- Boden Humusgehalt regelmäßig untersuchen lassen und bei Bedarf Zwischenfrucht Mischungen verändern

Risiken für das Bodenleben

- unzureichende Versorgung mit organischer Substanz: ungünstig für Bodenfauna
- hoher Wasserverbrauch: negativ für Bodentiere (z. B. Regenwürmer)
- Gärrückstände: geringerer Energieinhalt als in Gülle, Stallmist, Zwischenfruchtaufwuchs, Stroh, ...

Gegenmaßnahmen

- Vollständige, bedarfsorientierte Rückbringung des Gärsubstrats auf Flächen nur in flüssiger Form (Biogasgülle)

Risiken für das Grundwasser

(siehe auch Pfundtner 2008a)

- Gefahr des Nitrateintrages

Gegenmaßnahmen

- Ermöglichung eines ausreichend wurzelbildenden Bewuchses
- bedarfsorientierte Düngung für Boden und Pflanze

Vorteile im Bezug auf Boden

- + Gute fachliche Praxis ist Standard
- + Das Niveau der guten fachlichen Praxis beim Anbau von Energiepflanzen ist das gleiche wie beim Anbau von Nahrungs- und Futtermitteln.

- + Auch nach langjähriger Nutzung mit Energiepflanzen bleiben die Flächen ohne Einschränkung für die Erzeugung gesunder Nahrungsmittel geeignet, bzw. können sogar ertragreicher (positiver Synergieeffekt) werden
- + Für den Anbau von Energiepflanzen ergeben sich keine höheren, aber u.U. ergänzende Anforderungen an die gute fachliche Praxis.

Zusammenfassung der Risiken beim Zwischenfruchtbau und Bewertung gegenüber den Nachhaltigkeitskriterien

Risiken für die Bodenfruchtbarkeit bestehen generell für die Bodenstruktur, den Bodenabtrag, die Humusversorgung und das Bodenleben. Auch besteht ein Risiko bezüglich der Qualität des Grundwassers.

All diesen Risiken kann jedoch durch eine entsprechende Bewirtschaftungsweise erfolgreich begegnet werden, sodass die entsprechenden Nachhaltigkeitskriterien i.A. erfüllt werden können.

4.4.2.1 Nachhaltigkeitskriterienkatalog für Grünland

(Pistrich et al. 2009)

Ökologische Kriterien: ökologische Nachhaltigkeit

- Maximale Ressourcenschonung unter Berücksichtigung der natürlichen Produktionskräfte und Regulationsmechanismen (sparsamer Einsatz nicht erneuerbarer Ressourcen, Stoffkreisläufen)
- Möglichst geringe Beeinträchtigung der Umweltmedien Boden, Luft und Wasser; Lärmschutz
- Ausrichtung von Funktion und Nutzung des Grünlandes an der lokalen Tragfähigkeit des Ökosystems (standort-/ regionsangepasste Nutzung)
- Erhaltung der Biotop- und Artenvielfalt (Biodiversität)
- Erhaltung/Förderung einer standortangepassten Flora und Fauna
- Erhaltung des Selbstregulationsvermögens des Ökosystems Grünland
- Artgerechtigkeit der Tierhaltung
- Erzeugung gesunder, schadstofffreier Nahrungsmittel

Soziokulturelle Kriterien: soziale Nachhaltigkeit

- Möglichst hohe Vielfalt sensorischer Wahrnehmungen/Ästhetisch ansprechendes Erscheinungsbild
- Erhaltung spezifischer (regionstypischer) Charakteristika von Grünlandflächen, die ihre Einzigartigkeit und Identität bzw. historischen Wert ausmachen und damit die

Grundlage für die Funktion des Grünlandes als Kulturträger und Identifikationspunkt für die ansässige Bevölkerung bilden

- Bottom-up Ansatz bei der Integration der multifunktionellen Nutzungsansprüche (Einbindung der betroffenen Bevölkerung bei Konfliktlösungen; participatory approach)
- „Gerechte“ Vorgangsweise bei der Integration der multifunktionellen Nutzungsansprüche („Verteilungsgerechtigkeit“)

Ökonomische Kriterien: ökonomische Nachhaltigkeit

- Angemessenes Einkommen für die Grünlandbewirtschafter (Rentabilität der Grünlandbewirtschaftung)
- Beitrag zur Wohlfahrt der ansässigen Bevölkerung / zur Lebensfähigkeit der Region (etwa durch Schaffung von Arbeitsplätzen)
- Effizienter Einsatz öffentlicher Mittel zur Lenkung der Grünlandnutzung

4.4.3 Grünlandboden - Risikoprofil

Für das Grünland kann prinzipiell der gleiche Aufbau des Risikoprofils wie für den Ackerboden herangezogen werden, wobei die Aussagen für das Grünland zu spezifizieren sind. Außerdem wachsen im Grünland während der ganzen Vegetationsperiode durchgehend perennierende Gräser.

Risiken für die Bodenstruktur

- mehr Arbeitsgänge auf der Wiese als nur bei Futterbewirtschaftung
- kostengünstige und schlagkräftige Maschinen bei Ernte und Gärsubstratausbringung – Bodenschadverdichtung (siehe Abbildung 23)

Wirkungen nachhaltiger Schadverdichtungen in Grünlandböden

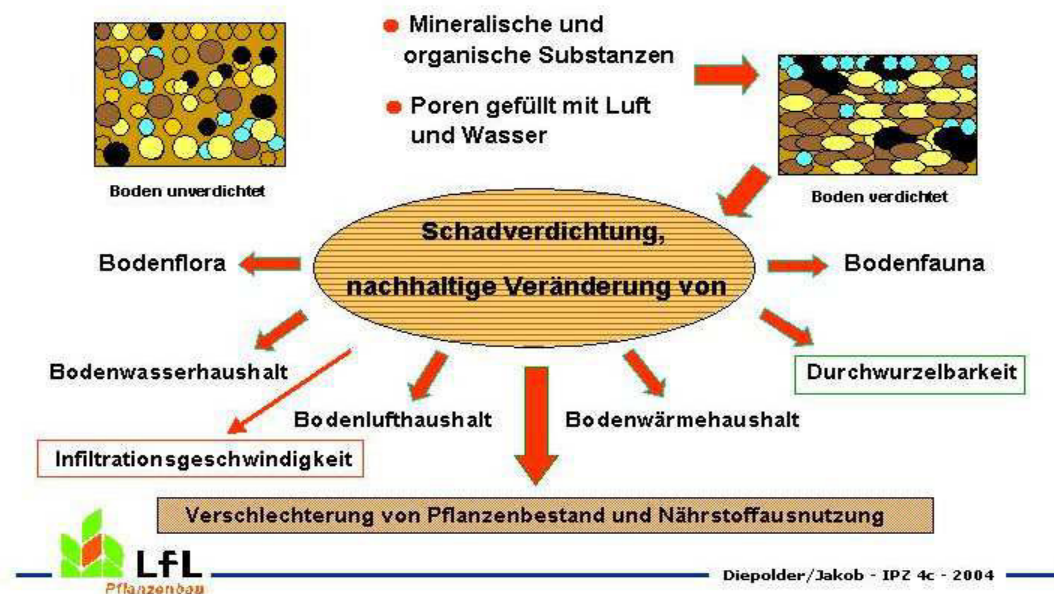


Abbildung 23: Auswirkung von Schadverdichtungen auf Grünlandböden (Juritsch 2008)

Gegenmaßnahmen (siehe auch Hunger 2009)

- Breitreifen mit niedrigem Reifeninnendruck (max. 1-2 bar) und Radlastbegrenzung (max. 10 t) auf dem Feld
- Anpassung der Maschinenschlagkraft an die Bodenstruktur bei Ernte, Gärsubstrat-ausbringung und Transport und dadurch Hintanhaltung der Bodenschadverdichtung

Chancen und Risiken für die Bodenerosion

- + durchgehende Bodenbedeckung
- Erosionsrisiko bei schlechter Bewirtschaftung (Horstbildung, etc....) auf geneigten Flächen

Gegenmaßnahmen

- Bodenpflege, Wiesenpflege, regelmäßige Nachsaat
- Verwertung des Grünlandaufwuchses in Biogasanlagen: optimaler Erosionsschutz (Rippel 2008)

Risiken für die Humusversorgung

- Abfuhr der gesamten oberirdisch gewachsenen Pflanzenteile
- unzureichende Nachlieferung an organischer Substanz
- ungenügende Rückführung an organischer Substanz („Humusfalle“)

Gegenmaßnahmen

- +Vermeidung von Rasierschnitten (Mindestschnitthöhe >7 cm)
- gleichmäßiges, vollständiges sowie bedarfsorientiertes Ausbringen des Gärsubstrats (auch in den Bestand)
- Boden Humusgehalt regelmäßig untersuchen lassen und bei Bedarf Grasmischungen verändern

Risiken für das Bodenleben

- unzureichende Versorgung mit organischer Substanz: ungünstig für Bodenfauna
- Gärrückstände: geringerer Energieinhalt als in Gülle, Stallmist,...
- Pharmazeutika belastete Biogasgülle

Gegenmaßnahmen

- Vollständige, bedarfsorientierte Rückbringung des Gärsubstrats auf Flächen nur in flüssiger Form (Biogasgülle)
- Vermeidung des Einsatzes Pharmazeutika belasteter Substrate (z.B. aus belasteten Tierexkrementen)

Risiken für das Grundwasser

- Gefahr des Eintrages von Nitraten und Pharmazeutika durch Biogasgülle in den Boden

Gegenmaßnahmen

- Ermöglichung eines ausreichend geschlossenen und wurzelreichen Bewuchses
- bedarfsorientierte Düngung für Boden und Pflanze
- Vermeidung des Einsatzes Pharmazeutika belasteter Substrate (z.B. aus belasteten Tierexkrementen)

Vorteile im Bezug auf Boden

- + Gute fachliche Praxis ist Standard
- + Das Niveau der guten fachlichen Praxis bei der energetischen Grünlandbewirtschaftung ist das gleiche wie bei Futterbewirtschaftung
- + Auch nach langjähriger energetischer Nutzung bleiben die Flächen ohne Einschränkung für die Erzeugung gesunder Futtermittel geeignet, bzw. können sogar ertragreicher (positiver Synergieeffekt) werden
- + Für die Ernte von Gras für die Biogasanlage ergeben sich keine höheren, aber u.U. ergänzende Anforderungen (bei Bedarf regelmäßige Nachsaat) an die gute fachliche Praxis.

Zusammenfassung

Risiken für die Bodenfruchtbarkeit des Grünlandes bestehen wie beim Zwischenfruchtanbau für die Bodenstruktur, den Bodenabtrag, die Humusversorgung und das Bodenleben. All diesen Risiken kann jedoch ebenfalls wie beim Zwischenfruchtbau durch eine entsprechende Bewirtschaftungsweise erfolgreich begegnet werden sodass die entsprechenden Nachhaltigkeitskriterien i.A. erfüllt werden können.

4.4.4 Energiepflanze – Risikoprofil

(siehe auch Breitschuh et al. 2005)

Risiko Pflanze allgemein

- Monokultur bezüglich Boden und Fermentation
- Unkraut
- Mangel an Biodiversität
- Schädlingsbefall der Pflanze
- geringe Bio- und Wurzelmassegehalte

Gegenmaßnahmen

- Optimierung des Anbaus von Zwischenfruchtmischungen zur Anhebung der Biodiversität und besseren Fermentation, Unkrautregulierung durch Bewuchs unterschiedlicher Höhe und Bodenbedeckung, des Biomassegehaltes und der Wurzelmasse durch verstärkte Photosynthese
- Bereitstellung eines gesunden Bodens zur Stärkung der Pflanze gegen Schädlinge

Risiko Samen

- Samenzüchtung und -bereitstellung von Dritten abhängig

Gegenmaßnahme

- Durch die Vermeidung von Hybriden als Energiepflanzen ist eigene Samenzucht durch den Landwirt möglich

Risiko Wassermangel

- Anbau der Zwischenfrucht im Sommer, zu wenig Wasser für Auflauf

Gegenmaßnahme

- Bodenschonende (meist pfluglose) Bodenbearbeitung und Energiepflanzenanbau unmittelbar nach Ernte der Hauptfrucht zur Verringerung des Verlustes an Bodenfeuchte, Bodennahe Biogasgülledüngung sowie gute landwirtschaftliche Praxis

Risiko Nährstoffmangel

- Nährstoffmangel beim Aufwuchs

Gegenmaßnahme

- Bedarfsorientierte, punktgenaue, bodennahe Ausbringung der Biogasgülle (Schleppschlauch)

Risiko Erntezeitpunkt

- Zu frühe / zu späte Zwischenfrucht Ernte im Herbst

Gegenmaßnahme

- Festlegung des Erntezeitpunkts möglichst nahe zum Ende des 10 Stunden Lichttages (Das ist jener Tag, an dem es noch mindestens 10 Stunden licht ist. Dieser Tag liegt in unseren Breiten um den 12. Oktober)

Risiko TM-Gehalt

- Trockenmassegehalt der Zwischenfrucht Frischmasse bei Ernte zu gering

Gegenmaßnahme

- auf Schwad legen der Frischmasse

Risiko Ernteverluste

- zu hohe Ernteverluste durch Einsatz falschen Geräts

Gegenmaßnahme

- Einsatz des geeigneten Gerätes

Risiko Silierbarkeit

- Silierbarkeit problematisch, Silierverluste

Gegenmaßnahme

- Wahl geeigneter Energiepflanzen Mischungen

Risiko Niederschlagsabhängigkeit

- Zwischenfrucht Ernteertrag niederschlagsabhängig

Gegenmaßnahme

- Reduzierung der Bodenwasserverluste durch optimale Bewirtschaftung (bodenwasserkonservierende Bodenbearbeitungsverfahren) möglich sowie auch durch Auswahl geeigneter trockenresistenter und tiefwurzelnder Pflanzen

4.4.5 Lebensmittelpflanze (Hauptfrucht) - Risikoprofil

Risiko Pharmazeutikaeintrag

- Pharmazeutikaeintrag durch belastete Biogasgülle in Lebensmittelpflanze

Gegenmaßnahme

- Vermeidung belasteter Biogasgülle, Reguläre Überprüfung der Eingangssubstrate (vor allem Tierdung und andere Co-Substrate aus nicht NaWaRos) und der Ausgangs - Biogasgülle auf Belastungsstoffe

4.4.6 Atmosphäre- Risikoprofil

Risiko Methanemissionen

- Emission von CH₄ bei der Herstellung und Speicherung von Biogas

Gegenmaßnahme

- Abdeckung und Abdichtung der Speicher und Rohrleitungen

Risiko Lachgasemissionen

- Emission von N bei der Lagerung und Ausbringung der Biogasgülle (Lachgas) vom auf Acker

Gegenmaßnahme

- Abdichten der Lager sowie bodennahe Ausbringung der Biogasgülle

Zusammenfassung

Sowohl für den Zwischenfrucht - Energiepflanzenanbau als auch für den Hauptfruchtanbau sind im Allgemeinen risikomindernde Gegenmaßnahmen möglich. Bei „guter landwirtschaftlicher Praxis“ kommen i.A. letztere bei allen Risikodimensionen zum Tragen (siehe Abbildung 24).

Die ökologischen Risiken des Zwischenfruchtanbaus sind im folgenden Risikoprofil zusammengefasst. Wie ersichtlich, ergibt sich durch ergreifbare Gegenmaßnahmen zu den Risiken, d.h. durch die verfügbaren Maßnahmen der Risikomitigation ein Vorteil dieser Art der Flächenbewirtschaftung (siehe mittleres Polygon) gegenüber der konventionellen Bewirtschaftung ohne Zwischenfruchtbau (inneres Polygon).

Die qualitative Bewertung des Zwischenfruchtanbaus bezüglich der jeweiligen Risikodimensionen erfolgte durch ein internes Expertenjudgement von mehreren Experten auf Basis der vorangegangenen Ausführungen zu den Risiken und deren Gegenmaßnahmen und unter der Voraussetzung „guter landwirtschaftlicher Praxis“ auch beim Zwischenfruchtbau.

Stärkste Risikominderung durch den Zwischenfruchtbau wurde bezüglich der Dimensionen Bodenerosion, Humusaufbau und Bodenleben identifiziert, für welchen primär der Bewuchs des Bodens durch die Zwischenfrucht von Bedeutung ist.

Der äußerste Polygonzug in Abbildung 24 symbolisiert eine idealisierte absolut risikolose Bewirtschaftungsform (grüner Bereich). Während sich eine vollständig risikobehaf-

tete Bewirtschaftungsform bei schlechter landwirtschaftlicher Praxis ohne Gegenmaßnahmen im Zentrum abbilden würde (roter Bereich).

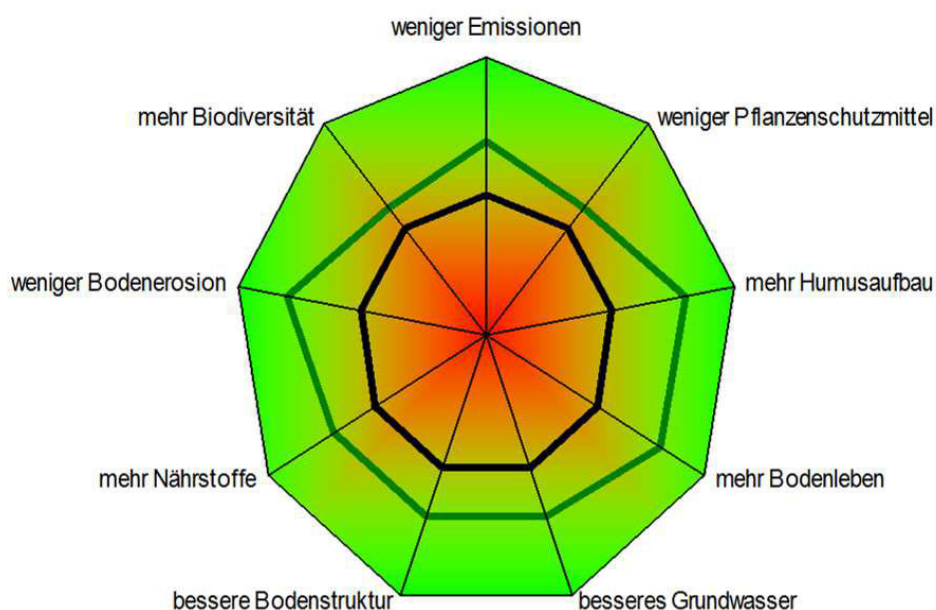


Abbildung 24: Ökologisches Risikoprofil für den Energiepflanzen- Zwischenfruchtanbau im Vergleich zu konventioneller Bewirtschaftung ohne Zwischenfruchtanbau

4.5 Zusammenfassung Kapitel 4

Das im Projekt OPAL gewählte Verfahren der Biogasbewirtschaftung auf den Ackerflächen nach Getreide und auf den Grünlandflächen nach Raufutterernte wurde im Wesentlichen beschrieben. Dabei wurde nach einer allgemeinen Beschreibung der gewählten Flächennutzungsart auf dem Acker und dem Grünland auf wesentliche Schritte bei der Flächenbewirtschaftung, wie Bodenbearbeitung, Aussaat und Ernte beim Zwischenfruchtanbau, das Düngemanagement auf den Flächen und die Nährstoffbilanz im jeweiligen Boden eingegangen.

Für den Energiepflanzen-Zwischenfruchtanbau sollte in Folgeprojekten versucht werden, mit vorhandenen gemessenen Daten und solchen aus der Literatur sowohl eine annähernde N-Nährstoffbilanzierung als auch eine Humusbilanzierung vorzunehmen. Für den Grünlandbereich wurde bezüglich der Nährstoffbilanz auf Werte in der Literatur zurückgegriffen. Bei der Humusbilanz für energetische Grünlandnutzung konnte auf gemessene Werte durch die AGES im Rahmen des Projektes OPAL Bezug genommen werden.

Unter dem Kapitel „Synergieeffekte des Verfahrens“ wird auf die positiven Effekte desselben bezüglich der Humusbildung auf den Flächen für den Energiepflanzenbau hingewiesen, auf welche die nährstoffreiche Biogasgülle zurückgeführt wird.

Die Verbesserung der Wasserspeicherfähigkeit des Bodens sowie die Stärkung des Bodens und die daraus resultierende Anhebung der Widerstandsfähigkeit der Pflanzen sind weitere Synergieeffekte die behandelt werden.

Um die Praktikabilität des Ökobilanz-Programmes GEMIS, im Rahmen von OPAL zu demonstrieren, wurde exemplarisch an einem realen Beispiel dessen Anwendung für die Berechnung der CO₂ Emissionen samt Ergebnissen beschrieben und diskutiert.

Die ökologischen Risiken des Zwischenfruchtanbaus sind durch entsprechende verfügbare Maßnahmen der Risikomitigation gegenüber der konventionellen Bewirtschaftung ohne Zwischenfruchtbau deutlich reduziert. Die stärkste Risikominderung durch den Zwischenfruchtbau wurde bezüglich der Dimensionen Bodenerosion, Humusaufbau und Bodenleben identifiziert, für welche primär der Bewuchs des Bodens durch die Zwischenfrucht von Bedeutung ist.

5 Software

5.1 Allgemeine Beschreibung

Das Programm ist eine in Java geschriebene Internetapplikation (Javaservlet) und ist auf <http://www.risk.boku.ac.at/OPAL/> erreichbar.

Es soll die Dissemination der Projektergebnisse über das Internet ermöglichen.

Diese Ergebnisse stehen somit in der Form von Rechenalgorithmen für Biogaspotenziale einem breiten Publikum zur Verfügung.

Adressaten für dieses Programm sind einerseits (potenzielle) Biogasanlagenbetreiber, aber auch Entscheidungsträger aus Politik und Verwaltung.

Ersteren soll vor allem die Abschätzung des Ertragspotenzials von Zwischenfrüchten vermittelt werden, die additiv zu irgendeiner Hauptfrucht innerhalb einer Vegetationsperiode angebaut werden können. Additiv können auch Gaserträge für die Hauptfrucht, von Grünland oder von irgendwelchen Rest- bzw. Abfallstoffen ermittelt werden. Ausgehend von diesen Ertragspotenzialen kann dann eine betriebswirtschaftliche Kosten/Nutzenrechnung für eine konkrete Anlage durchgeführt werden (betriebswirtschaftliche Betrachtung).

Der zweiten Gruppe soll ein Überblick über das Ertragspotenzial von Zwischenfrüchten für ganze Regionen vermittelt werden. Daraus werden dann Gaserträge, Stromerträge, Einkünfte und CO₂-Einsparungen errechnet (volkswirtschaftliche Betrachtung).

Zur Durchführung der betriebswirtschaftlichen Abschätzung sind folgende Schritte notwendig:

- Festlegung des Ortes der landwirtschaftlichen Nutzflächen
- Beschreibung bis zu zehn verschiedener für die Zwischenfrüchte allozierter Nutzflächen durch Größe, Hanglage, Bodenart, angebaute Frucht und Management
- Beschreibung bis zu zehn verschiedener Grünlandflächen
- Beschreibung bis zu zehn verschiedener für die Hauptfrucht allozierter Nutzflächen durch Größe und angebaute Frucht
- Definition von bis zu zehn verschiedener Rest- bzw. Abfallstoffe
- Erwartete Witterungsänderung (Temperatur und Niederschlag)

Nach diesen Eingaben können bereits landwirtschaftliche Erträge, Gas- und Stromerträge errechnet werden. Die Substratmenge bzw. -arten müssen so lange variiert werden, bis eine gewünschte Anlagengröße erreicht wird.

In einem weiteren Eingabeblock können jetzt anlagenspezifische Daten eingegeben werden:

- Investitionskosten und Abschreibungskosten
- Servicekosten

- Verbrauchsgebundene Kosten
- Betriebsgebundene Kosten
- Kapitalkosten

Aus diesen Eingaben können nun in einer Eingabe-/Ausgaberechnung Gewinn und Cash Flow errechnet werden. Diese Berechnung wird über die gesamte Betriebsdauer der Anlage durchgeführt.

Für die Kosten werden Valorisierungsfaktoren berücksichtigt.

Zur Durchführung der volkswirtschaftlichen Abschätzung ist lediglich eine Region zu wählen.

Verwendete Daten

Die Ertragspotenziale der Zwischenfrüchte und von Grünland wurden mit einer Computersimulation (siehe Simulationsergebnisse MET) in Abhängigkeit des Ortes und Wetterdaten ermittelt. Darüber hinaus wurde ein empirisch ermitteltes Zu- und Abschlags-system berücksichtigt.

Für die Erträge der Hauptfrüchte wurden mittlere Werte aus der Literatur genommen. Selbiges gilt für die Gaserträge sowohl von den Hauptfrüchten als auch von Reststoffen.

5.1.1 Ausgangsbasis Ertragsdaten

Ein Mehrwert des Projektes OPAL stellt die agrarmeteorologische Modellierung der gemessenen Zwischenfrucht- und Grünland – Ertragsdaten dar, wodurch der Einfluss des Klimawandels auf Erträge in Österreich simulierbar wurde.

Im Folgenden werden die entsprechenden Simulationsergebnisse für die Energiepflanzen - Zwischenfrüchte sowie für das Grünland behandelt.

Sonstige Substrate, die für die Biogasbewirtschaftung von Interesse sein können, sind neben Gülle aus der Rinderzucht und anderen Fruchtarten, die aus dem Nahrungs- und Futtermittelbereich stammen, der Vollständigkeit halber angegeben. Letztere wurden aber nicht agrarmeteorologisch modelliert. Einerseits lagen keine entsprechenden Input Parameter für eine solche Modellierung vor. Andererseits war es bei der Schnittstellenoptimierung vorrangiges Ziel, keine Nahrungs- und Futtermittelkonkurrenz zu implizieren.

5.1.1.1 Simulationsergebnisse MET

Zu Beginn wurde die Kalibrierung durchgeführt. Unter Modellkalibrierung versteht man eine Angleichung der Parameter mit der Absicht, simulierte mit beobachteten Werten vergleichen zu können (Sing et al. 2008). Das Pflanzenwachstumsmodell DSSAT benötigt dazu ein Minimum an Eingabedaten:

- Boden- und Managementdaten standen von den zwei Feldversuchsstationen Gallspach im Bezirk Grieskirchen sowie Enzersdorf an der Fischa im Bezirk

Bruck/Leitha zur Verfügung. Einjährige Feldversuchsdaten (2009) wurden hierbei verwendet.

- Wetterdaten wurden von den nächst gelegenen ZAMG Stationen Waizenbach bzw. Bruck/Leitha verwendet.

In einem nächsten Schritt wurden im DSSAT Model die Genetikdaten der Kulturpflanze angepasst. Die Genetikkoeffizienten, die im DSSAT Model benutzt werden, zeichnen das charakteristische Wachstum und die Entwicklung von ausgewählten Kulturen dar (Tsuji et al. 1998, Alexandrov and Hoogenboom 2000). Als Hauptfrucht wurde Winterweizen mit anschließender Biogasfrucht, das als Futtergras im Modell gleichgestellt wurde, simuliert. In beiden Feldversuchsstationen konnte die Kalibrierung erfolgreich durchgeführt werden (Biomasseerträge in Trockenmasse wurden zu <0.01 Genauigkeit nachsimuliert).

Die ersten Simulationsergebnisse konzentrierten sich auf die Referenzperiode und wurden mit drei fixierten Anbauterminen im Juli bzw. August mit jeweils der Vorfrucht Winterweizen simuliert. Den ersten Anbautermin bildete der 21. Juli, jener Tag, der bei der Feldversuchsstation verwendet wurde. In einem weiteren Schritt wurde der Saattermin der Biogasfrucht um 1 bzw. 2 Wochen später simuliert. In Abbildung 25 sind die potentiellen Ertragsverluste bei Verschiebung des Saattermins dargestellt.

Potenzielle Ertragsverluste der Biomassefrucht bei Verschiebung des Saattermins

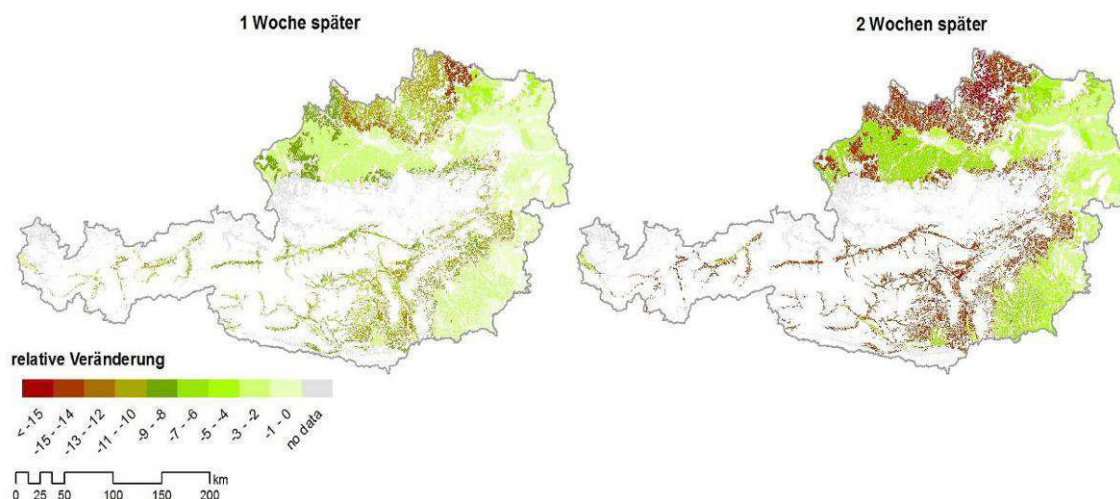


Abbildung 25: Potenzielle Ertragsverluste der Biomassefrucht bei Verschiebung des Saattermins

Die geringsten Auswirkungen eines späteren Saattermins würde man im Osten Österreichs bemerken, sehr anfällig wäre hingegen das Mühl- und Waldviertel.

Bei den Ergebnissen der relativen potenziellen Erträge der Zwischenfrucht zeigen die vier Regressionen ähnliche Ergebnisse, wobei die absoluten Erträge kontinuierlich von den seichten zu den tiefgründigen Böden hin zunehmen. Dennoch zeigen sich Detail-

ergebnisse, die durchaus plausibel wirken. In Abbildung 26 sind die Ergebnisse der Regressionen für die 4 Bodentypen dargestellt. Bei diesen Darstellungen wird unterstellt, dass ganz Österreich den jeweiligen Bodentyp hat. Die Bodenklassen 1 und 2 zeigen die höchsten Erträge in den Tal und Beckenlagen West und Südöstereichs. Sowohl der warm/trockene, pannonische Raum, als auch die kühl/feuchten Randgebirge bringen schon weniger als 90% des potenziellen Ertrages. Bei den Bodenklassen 3 bis 5 ist auch der pannonische Raum nicht mehr optimal für den Anbau geeignet, jedoch kommen diese Bodenarten besser mit den kühl/feuchteren Bedingungen wie etwa im Waldviertel oder im Oberösterreichischen Alpenvorland zurecht.

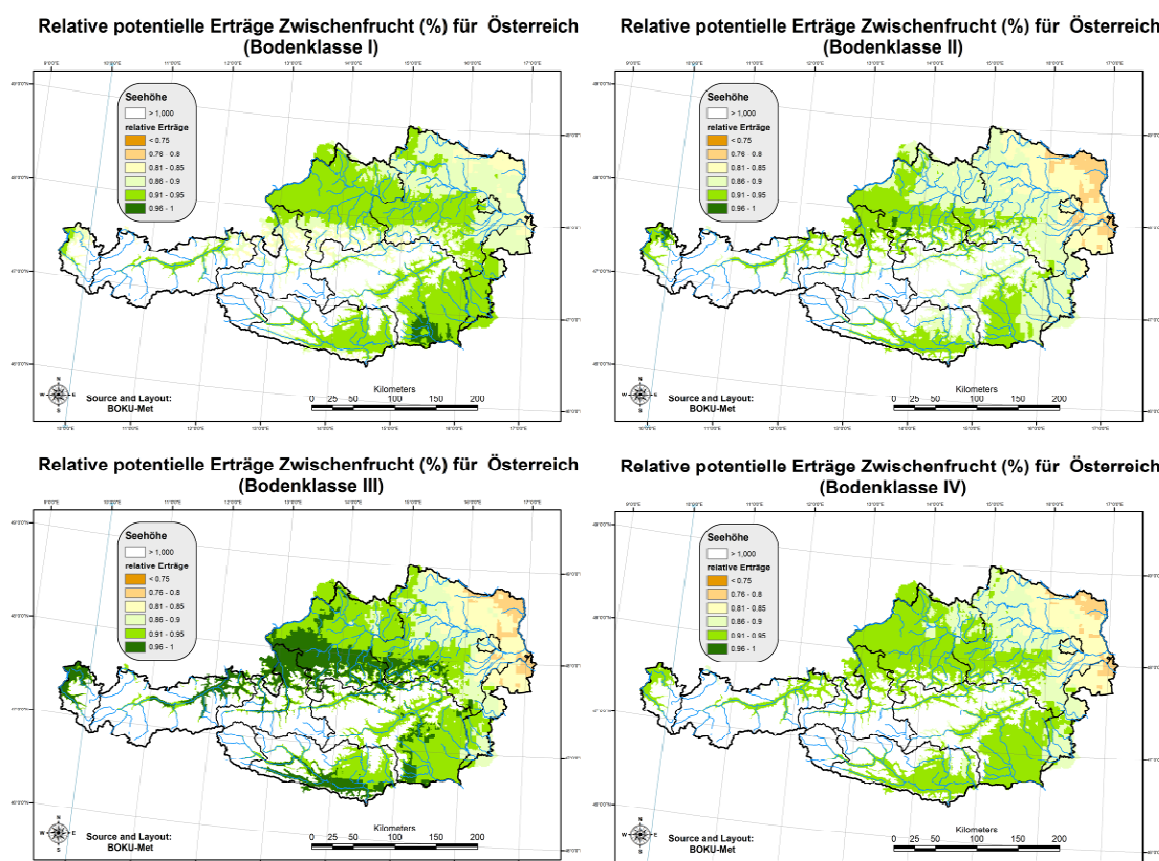


Abbildung 26: Räumliche Verteilung der potenziellen Zwischenfrucht-Biomasseerträge aufgrund der klimatischen Bedingungen der Temperatur und des Niederschlages (1961-1990) in Österreich.

Auch bei den Grünlanderträgen (Abbildung 27) zeigt sich bei allen Bodentypen eine ähnliche räumliche Verteilung. Auch die Referenzerträge für Gumpenstein für die Bodentypen II bis IV sind sehr ähnlich, nur beim Bodentyp I sind die Erträge um mehr als 15 Prozent geringer.

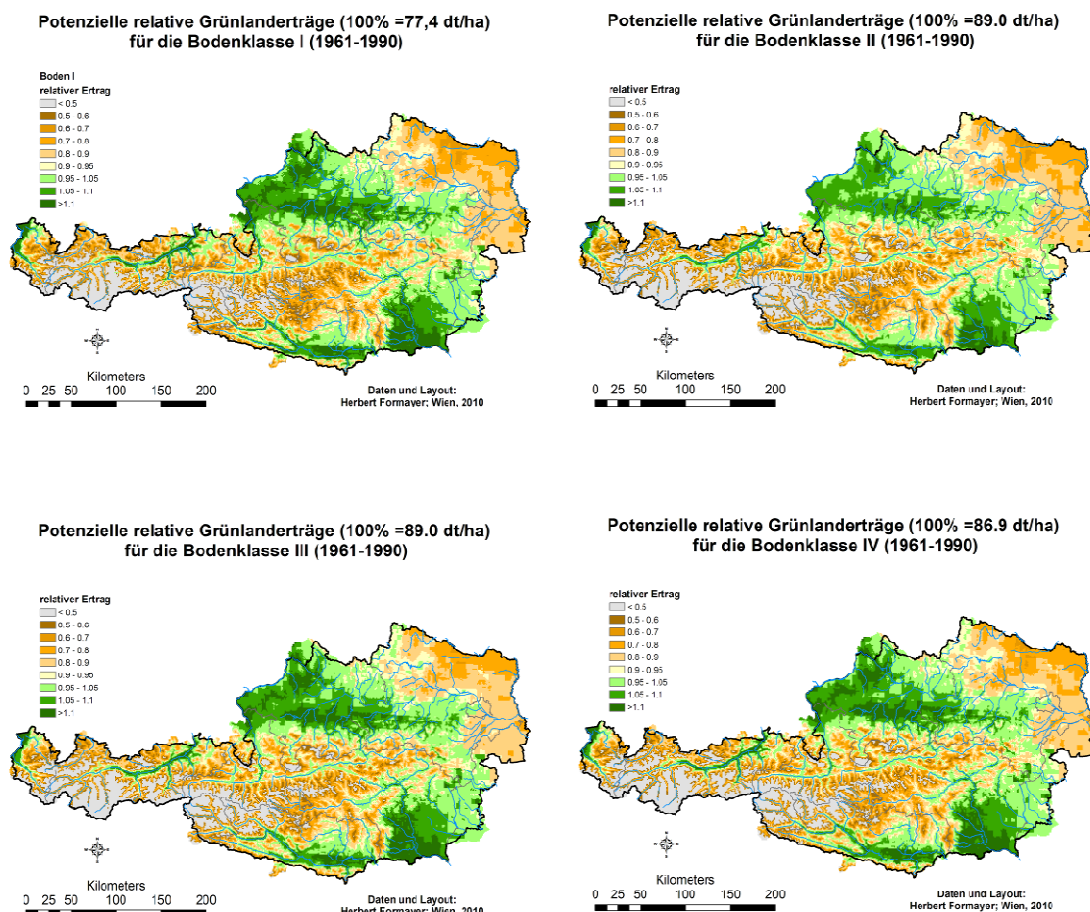


Abbildung 27: Räumliche Verteilung der potenziellen Grünland-Biomasse-Erträge aufgrund der klimatischen Bedingungen der Temperatur und des Niederschlages (1961-1990) in Österreich

5.1.1.2 Zwischenfrüchte

Wie in Punkt 2.5.5 beschrieben, wurden die Erträge verschiedener Zwischenfruchtmi- schungen unter variierenden Anbaubedingungen dokumentiert und die Biogasausbeu- te der Substrate zusammen mit Daten über die Art und Weise des Anbaus erhoben. Tabelle 15 gibt exemplarisch einige dieser erhobenen Daten wieder.

Tabelle 15: Auszug aus den Ertrags- und Anbaudaten für Zwischenfrüchte

Nr. der Mischung		3	4	4	5	5
Schlagnummer	-	S 34	1	2	1	2
Schlaggröße	ha	9	3,13	2,59	1	6,14
Bodenpunkte	-	50	60	61	65	60
Hauptfrucht Ertrag	t/ha	7,5	18,4	18,5	8	7,6
Bodenbearbeitungsart nach Hauptfrucht Ernte	-	Stoppelsturz mit Scheibenegge und Grubber	Stoppelsturz mit Grubber	Stoppelsturz mit Grubber	Stoppelsturz mit Grubber	Stoppelsturz mit Grubber
Bearbeitungstiefe	cm	17	20	20	15	20
Bearbeitungszeitpunkt	Tag	17.7.2009	18.7.2009	21.7.2009	19.8.2009	9.8.2009
Zwischenfrucht Dünge-zeitpunkt Gülle	Tag	16.7.2009	18.7.2009	21.7.2009	18.8.2009	15.8.2009
Zwischenfrucht CH ₄ gem	l _N /kg oTS	324	290	290	288	288
N Substrat - Batch	g/kgTM	29,3	19,4	19,4	20,2	20,2
N Biogaskgülle - Batch	Kg/m3	4,0	2,8	2,8	3,9	3,9

Es zeigt sich, dass unter geeigneten Bedingungen, vor allem zügigem Bewirtschaften und adäquater Pflege der Anbauflächen, Erträge von 9 tTM/ha bei einer Methanausbeute von 330 m³/tTM erreichbar sind. Die Angabe von Durchschnittserträgen erscheint in Anbetracht der stark unterschiedlichen Werte nicht sinnvoll.

Aus den dokumentierten Erträgen wurde unter Einsatz der in Abschnitt 2.5.7 beschriebenen Algorithmen Referzererträge ermittelt, die wiederum als Grundlage für den Einsatz der Algorithmen im OPAL Programm dienen. Im Programm implementiert wurden bislang drei Zwischenfruchtmischungen, die in Tabelle 16 aufgeführt sind.

Tabelle 16: im Programm implementierte Zwischenfruchtmischungen und zugehörige Referzererträge

Nr.	Mischung	Ref.-Ertrag [tTM/ha]
5	Sommerweizen, Sommerroggen, Hafer, Alexandrinerklee, Senf, Buchweizen, Sonnenblume	5,5
7	Ackerbohne, Sommerwicke, Phazelia, Mungo, Ölrettich, Sonnenblume	7,5
9	Kolbenhirse	8

5.1.1.3 Gras

Als Datenbasis für das Grünland dienten Ertragsmessungen einer herkömmlichen Bewirtschaftung aus Gumpenstein (Trnka et al. 2006) auf Basis einer 3 Schnitt Nutzung und Kunstdüngung nach jedem Schnitt (siehe Kapitel 2.5.6. Diese Ertragsdaten wurden agrarmeteorologisch für Österreich mit Hilfe des empirisch statistischen Programms GRAM modelliert.

Als Datenbasis für das Grünland dienen die Aufzeichnungen der Biogasanlage Reitbach/Eugendorf. Diese sind in Abbildung 28 grafisch und tabellarisch dargestellt. Die Unterschiede im Ertrag sind zumindest teilweise durch die meteorologischen Bedingungen erklärbar. (Stiegler 2010c)

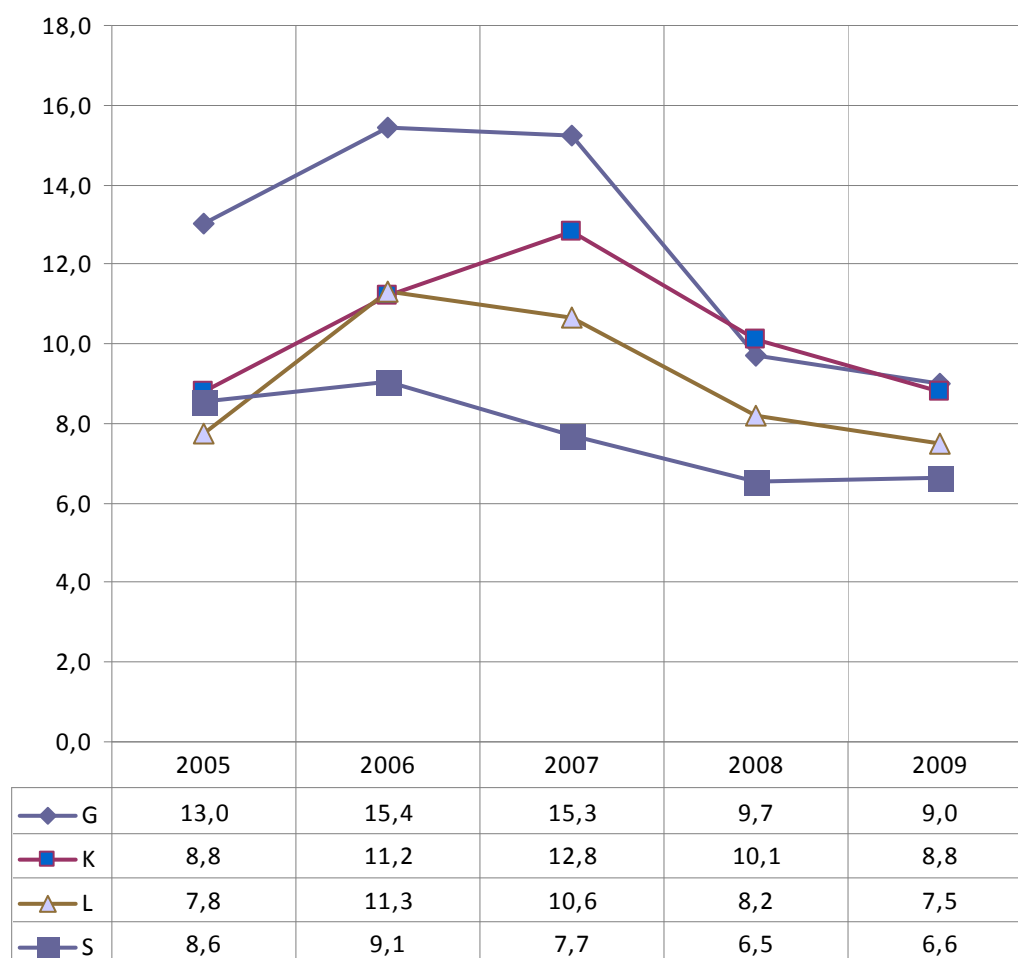


Abbildung 28: Darstellung der jährlichen Trockenmasseerträge in t/ha auf 4 verschiedenen Schlägen der Biogasanlage Reitbach/Eugendorf (reine Biogasbewirtschaftung)

Für die Anpassung der Abschlagsalgorithmen wird im Wesentlichen auf die Expertenmeinung von Karl Buchgraber und Bernhard Schneider zurückgegriffen. Die Referenzerträge wurden anhand der Versuchsflächen der LFZ Gumpenstein bestimmt und sind Tabelle 17 zu entnehmen.

Tabelle 17: Referenzerträge für Grünland nach Bodenklassen

Bodenklasse	Referenzertrag [t/ha]
1	7,739
2	8,901
3	8,895
4	8,689

5.1.1.4 Sonstige Substrate

Neben der Verwendung verschiedener Zwischenfruchtmischungen und Grassilage bietet die Software die Möglichkeit der Verwendung eines breiten Spektrums an zusätzlichen Substraten (Tabelle 18). Dabei bedient sich das Programm einer Vielzahl von Tabellenwerken um die zu erwartenden Methanerträge zu ermitteln.

Tabelle 18: Sonstige Feldfrüchte und Substrate

Altbrot	Altspeisefett	Apfelschlempe
Biertreber	Bioabfall Tonne	Blutmehl
Brauchwasser	Cob-Corn-Mix	Faserhirse
Futtermübenblatt siliert	Futtererbse	Futtermübe
Gemüseabfälle	Getreide - Ganzpflanze	Getreidekörner
Getreideschlempe	Getreidestroh	Glyzerinphase
Grünschnitt	Heu	Hirse
Hühnerkot	Kartoffel roh	Kartoffelkraut
Kartoffelschlempe	Kartoffelpulpe	Kartoffelfruchtwasser
Kartoffelschälabfall	Klee	Kleegras in Blüte
Luzernesilage	Maiskörner	Maissilage Ende Teigreife
Biogasmais	Maissilage Wachsreife	Maisstroh
Melasse	Molke	Obsttrester
Panseninhalte abgepresst	Pferdemist	Putengülle
Raps-Extraktionsschrot	Rindergülle	Rindermist
Rinderstallmist	Rinderstallmistkompost	Roggen-GPS
Roggen-Grünschnitt	Rohglyzerin	Rübenblatt
Schlachtabfälle	Schweinegülle	Schweinemist
Sida	Sonnenblumengrünschnitt	Speiseabfälle
Sudangras	Sorghum	Tierkörpermehl
Vinasse	Weidelgras	Wiesengras
Wiesenkle	Zuckerrübenblatt	Zuckerrübenschnitzel

5.1.2 Modifizierung der Zwischenfrucht-Hektarerträge für spezifische regionale Gegebenheiten

Zur Berechnung der konkret auf einer Fläche zu erwartenden Erträge wird das durch das agrarmeteorologische Modell gelieferte Ertragspotenzial auf den Referenzertrag einer gewählten Zwischenfruchtmischung angewandt und so ein lokaler Referenzertrag gewonnen. Dieser wird, um die Anbau- und Erntebedingungen zu berücksichtigen, wie folgt modifiziert:

Erntezeitpunkt der Hauptfrucht

Drei Zeiträume für die Ernte der Hauptfrucht werden unterschieden und führen zu Ab- und Zuschlägen. Im Folgenden sind die Zeiträume mit ihren Bezeichnungen und den zugeordneten Modifikationen aufgelistet:

- frühräumend: vor dem 27.07. → +20%
- späträumend: zwischen 27.07. und 10.08. → ±0%
- Sommergetreide: nach dem 10.08. → -20%

Bodenbearbeitungszeitpunkt vor der Zwischenfrucht

Jeder Tag Verzögerung nach Ernte der Hauptfrucht bis zur Bodenbearbeitung wird mit 2% Abschlag einberechnet, wobei ein Tag Toleranz besteht.

Aussaat der Zwischenfrucht

Jeder Tag Verzögerung nach Ernte der Hauptfrucht bis zur Aussaat der Zwischenfrucht wird mit 3% Abschlag einberechnet, wobei ein Tag Toleranz besteht.

Ernte der Zwischenfrucht

Es wird angenommen, dass der Trockenmasseertrag der Zwischenfrüchte einer logistischen Kurve folgt und daher der Ertrag bei zu früher Ernte entsprechend niedriger ausfällt.

Die logistische Kurve wird durch die Formel

$$(1 + (\alpha - 1)e^{\beta(d-\gamma)})^{\frac{1}{1-\alpha}}$$

beschrieben, die Parameter sind folgendermaßen gewählt:

α	...	12,575
β	...	-0,32229
γ	...	78,32

Der Parameter d steht für die Anzahl der Tage seit Aussaat.

5.1.3 Modifizierung der Grünland Hektarerträge für spezifische regionale Gegebenheiten

Im Fall der Grünlanderträge war die Anpassung an die lokalen Gegebenheiten nicht an den Messergebnissen validierbar, da die Datenbasis zu klein ist. Weiters werden die im Folgenden dargestellten Zu/Abschläge nicht auf den Referenztrockenmasseertrag, sondern auf den Referenzmethanertrag angewandt, da dies speziell zur Berücksichtigung der abnehmenden Verwertbarkeit in Biogasanlagen mit dem zunehmenden Grad an Verholzung der Biomasse notwendig ist.

Düngung:

- Unterversorgung: -30%
- Überversorgung: +20 bis +30%

Pflanzenbestand:

- ausgewogen: $\pm 0\%$
- lückig, krautreich: -20%
- kompakt, grasreich: +20%

Erntezeitpunkt:

Die Orientierung erfolgt an den Leitgräsern, dies ist unter 600m Knäuelgras oberhalb Goldhafer. Entsprechend des Zustandes dieser Leitgräser beim Erntezeitpunkt werden die Zu- und Abschläge gewählt:

- Rispenstücken: $\pm 0\%$
- Schoßen: +10%
- Blüte: -20%
- überständig: -50%

Schnittfrequenz:

- 1 Schnitt: -70%
- 2 Schnitte: -50%
- 3 Schnitte: $\pm 0\%$
- 4 Schnitte: +15%

5.2 Schnittstellen zu anderen Programmen

5.2.1 GEMIS

GEMIS stellt eine gute Ergänzung zur Anwendung von OPAL dar, da es dazu geeignet ist, für bereits fertig definierte (dimensionierte) Biogasanlagen Lebenszyklusbilanzen zu erstellen. Die wichtigsten sind:

- Schadstoffemissionsbilanz
- Klimabilanz (auf Basis von CO₂-Äquivalenten)
- Energiebilanz
- Rohstoffbilanz inkl. Angaben zur Biozidbelastung.

Die beiden Programme sind zu einander sehr gut kompatibel. Die GEMIS-Datenbank enthält eine ausreichend große Menge an Input-Substraten, dass eine Abschätzung der Lebenszyklus-Bilanz für eine mit OPAL geplante Biogasanlage möglich ist.

Neben GEMIS verfügen noch einige andere Programme über Möglichkeiten zur Ermittlung von Treibhausgas- und Schadstoffbilanzen der Biogaserzeugung, z.B. das Programm ECOGAS. Da dieses jedoch auf weit weniger umfangreichen und weniger intensiv aktualisierten Datenbanken aufbaut, liefert das Programm GEMIS der Realität näher kommende Resultate als ECOGAS.

5.2.2 Agro-biogas

Seit den ersten Versionen hat sich das Programm weiterentwickelt zu einer Prozess- und Materialflusssdokumentation zum Einsatz in der Ertekette – also von der Ernte über den Abtransport bis zur Silierung mit Grobangaben auch zur Verwertung zu Biogas.

Es baut auf schlagbezogener Ertragskartierung auf und bezweckt eine exakte Kosten- und Ertragserfassung sowie die automatisierte Herstellung von Lieferscheinen, Lieferverträgen und dergleichen. Auch die automatische Dokumentation der Beschickung von Biogasanlagen und der Gülleausbringung ist damit möglich. Nähere Informationen zum aktuellen Stand der Software finden sich auf der Internetpräsenz von Agrocom¹⁴.

In Folge der Weiterentwicklung dieses Programms während der letzten Jahre ist eine direkte Schnittstelle zu OPAL nicht mehr gegeben.

¹⁴ <http://www.agrocom.com/de/pflanzenbau/biogasproduktion/agro-biogas.html>

Sowohl dieses Programm als auch GEMIS bilanzieren den Energieeinsatz bei der Flächenbewirtschaftung. Beide Programme gelangen, wie durch Stichproben festgestellt wurde, zu vergleichbaren Resultaten, wobei im Programm der Fa. Agrocom meist ein geringerer spezifischer Energieeinsatz bei der Flächenbewirtschaftung ermittelt wird, da GEMIS vom durchschnittlichen agrarischen Maschinenpark ausgeht, während in die Agrocom-Daten die Verbrauchswerte des neuen Stands der Technik (z.B. bei den Bau-reihen der Marken Claas bzw. Jaguar) einfließen.

5.2.3 KTBL-Wirtschaftlichkeitsrechner

Eine gute Vergleichsmöglichkeit bietet der KTBL-Wirtschaftlichkeitsrechner¹⁵.

Der im Rahmen von Klima:Aktiv von der ARGE Kompost und Biogas erstellte Biogas-rechner von ist sehr allgemein gehalten, und bietet eher eine gute rasche Erstinforma-tion. Er eignet sich daher nicht zur Verlinkung mit OPAL.

5.2.4 Nachhaltigkeitstool RegioPlan des Instituts für Industrielle Ökologie der NÖ Landesakademie

Das Werkzeug ist hinsichtlich der zu bewertenden Aktivität völlig offen gestaltet. Es stellt eher einen Katalog von Fragen dar, deren Beantwortung durch Selbsteinschät-zung in Summe eine Nachhaltigkeitsbewertung führt. Es sind nur qualitative Skalen-werte und keine Zahlen anzuführen. Es bestehen daher keine Schnittstellenprobleme für Nutzer von OPAL, die nach einer OPAL-Berechnung **zusätzlich** das Tool verwen-den können.

5.3 Praktische Tests der Software und deren Ergebnisse, Post-Test Modifikation der Software

Die Software wurde in mehreren Schritten getestet und verbessert.

Eine erste Version der Software mit Ausnahme der Verknüpfung zu den Datenbanken der Hektarerträge nach Kleinproduktionsgebieten in Österreich und der Vegetationssi-mulation wurde in MS Excel erstellt und lieferte korrekte Resultate.

Die Software wurde daraufhin in JAVA erstellt und online lauffähig gemacht.

In einer Arbeitssitzung wurden Funktionalitäten, die bei der Übertragung von der EX-CEL-Basis auf JAVA nicht oder nicht korrekt übernommen worden waren, hergestellt.

¹⁵ <http://daten.ktbl.de/biogas/startseite.do?zustandReq=1&selectedAction=anlagen>

In 3 Arbeitssitzungen wurden die Programmoberfläche gestaltet, die Ablaufschritte festgelegt, die Textierung der Eingabemasken vorgenommen, und die Benutzerfreundlichkeit getestet, indem das Programm Personen, die mit seiner Entstehung nicht befasst waren, zur Verfügung gestellt wurde. Besonderen Wert wurde dabei auf die Erzielung von Unmissverständlichkeit, intuitiver Erfassbarkeit und Vermeidung von Eingabefehlern gelegt. Auch wurde getestet, wie viel an Erläuterungen vorzusehen ist – dabei wurde das Programm auf den voraussetzbaren Wissensstand der Nutzer (hinsichtlich Terminologie- und Technologiekenntnissen, aber auch hinsichtlich der Fähigkeit zur richtigen Angabe von im Programm vom Nutzer abgefragten Eingabewerten) abgestimmt. Dabei wurde Wert darauf gelegt, dass die Test-User verschiedenen Stakeholdergruppen zuzuordnen waren, zumal jede potenzielle Nutzergruppe einen unterschiedlichen Fokus hat, sich unterschiedlicher Terminologie bedient und unterschiedliche Vorkenntnisse mitbringt.

Anschließend erfolgte eine Kalibrierung durch 7 Stichproben: In einer Arbeitssitzung wurden konkrete Beispielfälle gerechnet und validiert. Die Übereinstimmung der Ertragssimulationen mit konkret auf österreichischen Standorten erzielten Erträgen wurde kontrolliert.

Die Kompatibilität von Terminologie und Zahlengrundlagen zwischen verschiedenen Softwaretools (v.a. GEMIS – pro biogas – OPAL) wurde kontrolliert.

Außerdem wurde eine Vergleichsrechnung mit dem etablierten Programm EcoGas (Daberner 2010) als auch mit der Ursprungsversion pro biogas (Schneider 2010) zufrieden stellend durchgeführt.

Ein Durchlauf mit der OPAL Software ist im Annex D exemplarisch dokumentiert.

5.4 Zusammenfassung Kapitel 5

Im Kapitel 4 werden die für die agrarmeteorologische Modellierung herangezogenen Ertragsdaten für Zwischenfrüchte und Grünland im Detail beschrieben. Die Ergebnisse sind als Relativerträge in Landkartenform für Österreich in Abhängigkeit von der Bodenklasse für die Zwischenfrucht- und für die Grünlandflächen dargestellt.

Für die Erfassung der Bewirtschaftungsweise auf den Flächen mit Energiepflanzen – Zwischenfruchtanbau als auch auf jenen mit energetischer Grünlandnutzung wurden jeweils unterschiedliche Ab/Zuschlagsalgorithmen entwickelt. Durch diese wird ein Anwender des OPAL Software Tools in die Lage versetzt, z.B. unterschiedliche Bodenbearbeitungs-, Aussaat- und Erntezeitpunkte für die Zwischenfrucht zu simulieren und den Einfluss auf die Trockenmasseerträge der Energiepflanzen zu bewerten.

Entsprechendes kann in Bezug auf das Schnitt- und Düngemanagement im Grünland erreicht werden, wobei jedoch in diesem Fall sich die Veränderung in den Biomethanerträgen niederschlägt.

Die Bandbreiten der jeweiligen Erträge sowohl für Zwischenfrucht als auch für Grünland dienen der Validierung der entsprechenden Ab/Zuschlagsalgorithmen.

Eine Anschlussrechnung mit GEMIS nach der Rechnung mit dem OPAL Software Programm zeigte die Funktionalität dieser Vorgangsweise.

Optional kann auch das Nachhaltigkeitstool RegioPlan im Anschluss an eine Opal Rechnung aktiviert werden. Ein Test wurde mit Erfolg durchgeführt.

Die praktischen Software Tests sind alle zur Zufriedenheit verlaufen. Es wurden mehrfach Vergleichsrechnungen mit dem Ursprungsprogramm pro biogas durchgeführt.

Die Praktikabilität der OPAL Software wurde mit internen und externen Usern mehrfach überprüft und falls erforderlich auch verbessert.

6 Ausblick

Wie eingangs erwähnt fiel die Laufzeit des Projektes OPAL in die erste umfassendere Phase der systematischen Erfassung von Daten für den Energiepflanzen-Zwischenfruchtanbau. Im April 2011 wird die Auswertung der Zwischenfruchterträge von 2010 zur Verfügung stehen. Diese sollte in einem Folgeprojekt zur Überprüfung der OPAL Software herangezogen werden.

Eine Erweiterung der **seriellen Ackerflächennutzung** durch Zwischenfruchtanbau zur Biogasproduktion auf andere Standorte in Österreich mit folgenden Aufgabenstellungen ist erforderlich:

- Züchtung und Feststellung optimal geeigneter, standortgerechter Zwischenfruchtmischungen bezüglich Bodenverbesserung, Biomasse der Pflanze und Wurzel, und Trocken- und Feuchteresistenz sowie Silier- und Vergärbarkeit im Fermenter
- Auffinden der geeigneten und verträglichen Fruchtfolgen Hauptfrucht – Zwischenfrucht – Hauptfrucht für diese Mischungen in mehrjährigen Feldversuchen
- Überprüfung der Selbstverträglichkeit der Zwischenfrüchte
- Systematische Untersuchung der Nährstoffgehalte der verschiedenen Zwischenfruchtsorten und deren Auswirkungen auf die Humus- und - Nährstoffbilanz
- Systematische Untersuchungen zur Trockenresistenz der Pflanzen
- Untersuchungen zum Auflaufverhalten der Zwischenfruchtsaaten nach Anbau bei unterschiedlicher Niederschlagsintensität
- Weitere zeitliche und maschinelle Optimierung der Flächenbewirtschaftung (Bodenbearbeitung, Aussaat, Düngung, Ernte) für neueste Zwischenfruchtmischungen
- Systematische Messungen zur Verbesserung der Wasserspeicherefähigkeit der Böden bei Energiepflanzen – Zwischenfruchtanbau mit Biogasgülle – Düngung
- Durchführung von systematischen Feldversuchen zur seriellen Ackerflächenbewirtschaftung für andere relevante Standorte in Österreich und im Ausland (EU Ebene)
- Erarbeitung einer Landkarte mit angegebenen Werten der Vegetationsdauer zur rascheren Identifizierung des Potenzials der seriellen Flächennutzung

Weiters ist eine Erweiterung der **seriellen Grünlandflächennutzung** zur Biogasproduktion auf andere Standorte in Österreich und im EU Ausland mit folgenden Aufgabenstellungen sinnvoll:

- Durchführung von systematischen Feldversuchen zur energetischen Grünlandbewirtschaftung (Schnitt- und Düngemanagement, Häufigkeit der Nachsaat)
- Durchführung von Humus und Nährstoffbilanzen für Grünlandböden mit energetischer Flächennutzung

OPAL Software

- Validierung des agrarmeteorologischen Modells für verschiedene Standorte mit Ertragsmessungen aus Zwischenfrüchten und Grünland

Die obige Zusammenstellung zeigt die Notwendigkeit von weiteren Aktivitäten auf, um die relevante Ertragsdatenbasis für Zwischenfrucht - Energiepflanzen zu vervollständigen, zu erweitern und zu konsolidieren. Entsprechendes gilt auch für das Grünland.

Diese Liste reflektiert die heutige Sicht der Dinge und ist damit als vorläufig einzustufen. Bei Bedarf ist sie zu erweitern.

In allen Fällen werden die Ergebnisse der Bemühungen auf diesem Gebiet nur dann zufriedenstellend sein, wenn - wie in diesem Projekt - Praktiker in der Landwirtschaft mit der Wissenschaft eng kooperieren, und wichtige Informationen gegenseitig austauschen.

Die OPAL Software möge durch intensive Anwendung ihren Wert vielfältig unter Beweis stellen müssen.

7 Literaturverzeichnis

AG Boden, 1996 Bodenkundliche Kartieranleitung, 4. Aufl., Hannover.

Aigner et al., 2008 Alois Aigner, Ewald Stickel, Einschätzung von Zwischenfrüchten als Substrat zur Biogasgewinnung in LFL Pflanzenbau
http://www.lfl.bayern.de/ipz/pflanzenbau_biogas/30222/zwischenfrucht_substrat.pdf

Alexandrov, V.A., Hoogenboom, G., 2000 The impact of climate variability and change on crop yield in Bulgaria. Agricultural and Forest Meteorology 104, 315–327.

Amon, 2006 Thomas Amon, Optimierung der Methanerzeugung aus Energiepflanzen mit dem Methanenergiewertsystem, Institut für Landtechnik, Universität für Bodenkultur, Wien, April 2006, Ein Projektbericht im Rahmen der Programmlinie Energiesysteme der Zukunft, Impulsprogramm Nachhaltig Wirtschaften
http://www.nachhaltigwirtschaften.at/edz_pdf/0680_methanerzeugung.pdf

Amon et al., 2009 Amon, Leonhartsberger & Bauer, Biogas und Methanpotenzial von Zwischenfrüchten, März 2009, Department für Nachhaltige Agrarsysteme, Institut für Landtechnik, Universität für Bodenkultur Wien.

Amon et al., 2010 Th. Amon, A. Bauer, D. Ilic, Ch. Leonhartsberger, G. Mair, Biogas und Methanpotenzial von Zwischenfrüchten, Endbericht, April 2010

Asamer V., Stürmer B., Strauss F., Schmid E., 2010: Integrierte Analyse einer großflächigen Pappelproduktion auf Ackerflächen in Österreich. Jahrbuch der Österreichischen Gesellschaft für Agrarökonomie. Im Druck.

Badenwürttemberg, 2002: Merkblätter für die umweltgerechte Landbewirtschaftung, Nr. 25, Dezember 2002

Banemann, 2010 Dirk Banemann, Innovativer Ansatz von Siliermitteln zur Verbesserung der Substratbereitstellung, Präsentation auf dem Biogasfachkongress „biogas 10“, in St. Pölten, 30.11. bis 1.12. 2010, Information auf Anfrage der OPAL Projektleitung

Berendonk 2007 Clara Berendonk, Zwischenfrüchte für Futternutzung und Biogaserzeugung, Landwirtschaftskammer Nordrhein-Westfalen Landwirtschaftszentrum Haus Riswick - Fachbereich Grünland und Futterbau-2007
<http://www.landwirtschaftskammer.de/riswick/pdf/zwischenfruchtanbau-futternutzung-2007.pdf>

BFW, 2004 Österreichische Waldinventur 2000/02 – Hauptergebnisse, Bundesamt und Forschungszentrum für Wald (Dienststelle des Bundesministeriums für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt- und Wasserwirtschaft), Wien 2004

Biogasforum bayern:

http://biogas-forum-bayern.de/download/GarrestkalenderFF_nur_Anfall_Garrestkorrauf7.pdf

Biogaspartner, 2010: Website des Projektes „Biogaspartner“ der Deutschen Energieagentur GmbH, <http://www.biogaspartner.de/>, letzter Zugriff im Juni 2010

BIOS, 2010: Beschreibung der ORC-Technologie für Biomasse-Kraft-Wärme-Kopplungsanlagen sowie anderer Möglichkeiten der Prozessintegration, BIOS Bio-energiesysteme GmbH, <http://www.bios-bioenergy.at/de/strom-aus-biomasse/orc-prozess.html>, letzter Zugriff im Juni 2010

BMLFUW, 2008, Der sachgerechte Einsatz von Biogasgülle und Gärrückständen im Acker- und Grünland; Fachbeirat für Bodenfruchtbarkeit und Bodenschutz, www.ages.at.

BMLFUW, 2009: Grüner Bericht 2009, Bericht über die Situation der österreichischen Land- und Forstwirtschaft, Herausgeber: Republik Österreich, vertreten durch den Bundesminister für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft, <http://www.gruenerbericht.at/>, letzter Zugriff im Juni 2010.

Böhm, R., 2008a Heiße Luft: Reizwort Klimawandel – Fakten, Ängste, Geschäfte. Edition VaBene, (ISBN: 978-3-85167-213-8).

Bradley, 2006: European Market Study for BioOil (Pyrolysis Oil), Doug Bradley

Breithschuh, 2005 Ökologische Konsequenzen (einschliesslich CC) des Anbaus und der Verwendung nachwachsender Biogasrohstoffe, 2005.

Buchgraber et al. 2006 Grünlandbewirtschaftung in Österreich Karl Buchgraber - Andreas Schaumberger, Ländlicher Raum 5, Online-Fachzeitschrift des Bundesministeriums für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft, Jahrgang 2006

Bundesamt und Forschungszentrum für Wald (BFW), (2005) eBOD - Die digitale Bodenkarte. In: <http://bfw.ac.at/rz/bfwcms.web?dok=2967>, (consulted 1st March 2007).

Daberger, 2010 Herbert Daberger, Inputdaten und Ergebnisse für Vergleichsrechnungen mit dem Programm EcoGas, 12/2010.

Dubrovsky, M., 1997: Creating daily weather series with use of the weather generator. Environmetrics, 8, 409-424.

Eitzinger et al., 2005 Ein Trockenschadenmodell für das österreichische Grünland, Josef Eitzinger, Helga Kromp-Kolb, Herbert Formayer, Mirek Trnka, Eduard Klaghofer, Elmar Stenitzer, Erwin Murer, Leopold Gassner, Karl Buchgraber, Andreas Schaumberger, Johannes Resch, 2005.

Eitzinger et al., 2009 Landwirtschaft im Klimawandel, Auswirkungen und Anpassungsstrategien für die Land- und Forstwirtschaft in Mitteleuropa, Agrimedia Verlag, 2009

Entrup et al., 2008 Prof. Dr. Norbert Lütke Entrup, Dipl.-Ing. (FH) Sebastian Hötte, Zwischenfruchtanbau für die Erzeugung von Biogas, Vortrag auf Fachtagung Optimierung des Energiepflanzenanbaus Jena, 7./8.10.2008.

Eurostat, 2010 Statistische Amt der Europäischen Gemeinschaft, Datenbank – Statistiken – Landwirtschaft – Pflanzliche Erzeugnisse: Versorgungsbilanzen,

<http://epp.eurostat.ec.europa.eu/portal/page/portal/agriculture/data/database>, letzter Zugriff im Juni 2010.

FNR, 2009: Biokraftstoffe – Eine vergleichende Analyse, Herausgeber: Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e. V., Gülzow 2009.

Freudenberger 2010 Feldsaaten Freudenberger, Gräser für Biogas, <http://www.freudenberger.net/graeser-fuer-biogas.asp>.

GEMIS-DS UBA Wien http://www.umweltbundesamt.at/leistungen/leistung_klima/leistungen_unternehmen_klima/gemis/.

Geveke, 2008 Jens Geveke, Präsentation in München 2008, Biogas aus Gras – Erfahrungen aus Norddeutschland.

Geveke, 2010 Jens Geveke, Persönliche Mitteilung 2010 an die Projektleitung anlässlich einer Exkursion zur Biogasanlage nach Westerstede, Norddeutschland

Graf, 1999/2001 Kraftwerk Wiese – Strom und Wärme aus Gras, Hrsg.: Walter Graf, Fachbuch, Verlag BOD, 1. Auflage; 1999, 2. erweiterte Auflage; 2001.

Graf et al., 2005 Wasserschutzpreis 2005 http://www.oekogas.com/content/u_4.htm

Graf, 2007 Kraftstoff Biogas, Graf Walter, Wien 2007.

Graskraft, 2000 Graskraft ist machbar, Dokumentation zum 1. Graskraft-Seminar am 19. Mai 2000, Landwirtschaftliche Lehranstalt Triesdorf

Graskraft, 2003 6. Graskraft-Seminar am 27. März 2003 in Emsteck.

Gutser, Ebertseder, Holz, 2007 Reicht das Fachrecht für die Umsetzung der EU-Wasser-Rahmenrichtlinie aus?, 24.10.2007, online unter http://www.agrarforschung.de/download/04_Gutser.pdf.

Haas R., Kranzl L., Kalt G., Diesenreiter F., Eltrop L., König A., Makkonen P., 2008: Strategien zur optimalen Erschließung der Biomassepotenziale in Österreich bis zum Jahr 2050 mit dem Ziel einer maximalen Reduktion an Treibhausgasemissionen, Energy Economics Group, Technische Universität Wien, 2008.

Handler et al., 2005 Franz Handler, Franz Heinzlmaier, Josef Rathbauer, Emil Blumauer, Endbericht Arbeitspaket 1: Verfügbarkeit von Energiepflanzen zur Biogasproduktion, FJ BLT Wieselburg, aus Programmlinie "Energiesysteme der Zukunft", Erstellung eines Bewertungstools für die regionale Akzeptanz von Biogasanlagen mit Energiepflanzen sowie deren Eignung und Verfügbarkeit.

Handler, 2010 Handler, e-mail Mitteilung an die Projektleitung betreffend fehlender Zwischenfruchtdaten im Jahr 2003, Jahr 2010.

Hartl et al., 2002 Dr. Wilfried HARTL, Ludwig-Boltzmann-Institut für Biologischen Landbau und angewandte Ökologie, Dr. Thomas LINDENTHAL, Institut für Ökologischen Landbau, Univ. f. Bodenkultur (IFÖL), Kursunterlagen Zum 1. Kurs

Bodenfruchtbarkeit und Nährstoffmobilisierung, 2002.

Hartl et al., 2010 Wilfried Hartl, Eva Erhart, Einfluß von Biogasgülle auf die Bodenfruchtbarkeit, Projektteil aus "Energiefrüchte vom Acker" 2010.

Hunger, 2009 Grundfutterproduktion: Pflege der Natur- und Kunstwiesen

IEA Bioenergy, 2010 Website von IEA Bioenergy Task 32: Biomasse Combustion and Cofiring, Database of Biomass Cofiring initiatives, <http://www.ieabcc.nl/> , letzter Zugriff im Juni 2006

IEA, 2008 Technology Perspectives 2008, Scenarios & Strategies to 2050, International Energy Agency, Paris 2008

Jones, 1993 J.W. Jones, Decision support systems for agricultural development. In: F. Penning de Vries, P. Teng and K. Metselaar, Editors, Systems Approaches for Agricultural Development, Kluwer Academic Press, Boston (1993), pp. 459*471.

Juritsch, 2008 Fachliche und rechtliche Relevanz von Bodenschadverdichtung in Salzburg

Kalt et al., 2009 Gerald Kalt und Lukas Kranzl, Energy Economics Group, Technische Universität Wien, Kritische Stellungnahme 2009 zum Endbericht zu Arbeitspaket 1

„Verfügbarkeit von Energiepflanzen zur Biogasproduktion“ des Projektes „Erstellung eines Bewertungstools für die regionale Akzeptanz von Biogasanlagen mit Energiepflanzen sowie deren Eignung und Verfügbarkeit“

Kalt et al., 2010 Kalt G., Kranzl L., Haas R., Adensam H., Stürmer B., Schmid E., Zawichowski M., 2010: Strategien für eine nachhaltige Aktivierung landwirtschaftlicher Bioenergie-Potenziale, Energy Economics Group, Technische Universität Wien, 2010

Kaltschmitt, M., Hartmann, H., Hofbauer, H., 2009 Energie aus Biomasse: Grundlagen, Techniken und Verfahren, 2. Auflage, Springer

Kling H., Fürst J., Nachtnebel H.P. 2005 Spatio-temporal water balance Danube – A methodology for the spatially distributed, seasonal water balance of the Danube basin. Final report, Austrian Academy of Sciences, HÖ 27/2003.

Klinski S. et al., 2006 Einspeisung von Biogas in das Erdgasnetz, Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e. V., Gülzow 2006

Koch, 2010 Hans Koch, Biomasseerträge und Wasserspeicherfähigkeit, aus Power Point Vortrag an der Boku Wien im Rahmen des OPAL Midterm Meetigs, 2010

Koch, 2010/1 Mündliche Mitteilung an die Projektleitung, 2010

Koch, 2008 Hans Koch: Zwischenfrüchte als Substrate für Biogasanlagen, Gesamtbetriebliche Übersicht und möglichen Perspektiven, Linz, 23. Oktober 2008 <http://media.manila.at/oekl/gems/KochBiogas081023.pdf>

Kranzl, 2002, Die gesamtwirtschaftliche Bedeutung der energetischen Nutzung von Biomasse

KTBL Wirtschaftlichkeitsrechner Biogas,
<http://daten.ktbl.de/biogas/startseite.do;jsessionid=B0F1E9A5B73DEE1A5E2A0A967E41AA9A>.

Ludger, 2009 Energiepflanzentagung – Biogas: Alternativen/Ergänzungen zu Mais Erfahrungen aus Nordrhein-Westfalen: Grünfütterroggen plus Mais Zweikulturnutzungssysteme mit Getreide-GPS und Sommerzwischenfrüchten, Dr. Ludger Laurenz, Beratung Pflanzenproduktion und Biogas im Westlichen Münsterland, <http://www.lk-wl.de/duesse/znr/pdfs/2010/2010-05-26-energiepflanzen-03.pdf>.

Maier, 1999, Öl und Chemie-Rohstoffe aus Holz - Flash-Pyrolyse eröffnet neue Möglichkeiten, Dietrich Meier und Oskar Faix, Forschungsreport ELF, Heft 1/1999.

OECD-FAO, 2008 Agricultural Outlook 2008-2017, Paris.

Panos K., 2007 Praxisbuch Energiewirtschaft, Springer Verlag, Berlin, Heidelberg, New York, 2007.

Pfundtner 2008 Erwin Pfundtner, Der sachgerechte Einsatz von Biogasgülle und Gärückständen im Acker- und Grünland; Fachbeirat für Bodenfruchtbarkeit und Bodenschutz, BMLFUW 2008 unter www.ages.at.

Pfundtner, 2008a Erwin Pfundtner: Nährstoff- und Humuswirkung von Gärresten aus Biogasanlagen, in „ERNÄHREN UNS IN DER ZUKUNFT ENERGIEPFLANZEN?“ Tagungsbericht 2008 zur ALVA Jahrestagung.

Pistrich et al., 2005 Leitbildanalyse und Funktionsprofil für das österreichische Grünland auf nationaler und lokaler Ebene, Jahrbuch der Österreichischen Agrarökonomie, Band 10, S. 107-126, 2005.

Priedl, 2001 Josef Priedl, Graspower – Bioenergie vom Feld direkt in die Steckdose, in Erneuerbare Energie in der Landwirtschaft, 2001.

Priedl, 2010 Persönliche Mitteilungen zum Gras- und Zwischenfruchtanbau für Biogas, 2010

Priedl et al., 2000 Solarpreis 2000,
<http://www.eurosolar.at/Drucksorten/solarpreis2000.pdf>.

Priedl et al., 2001 Neptun Wasserpreis 2001,
<http://www.wasserpreis.info/projekte/2001.php>.

PYNE, 2010, IEA Bioenergy, Task 34 – Pyrolysis, <http://www.pyne.co.uk/>, Zugriff am 5. Nov. 2010.

Raser et al., 2009 Hannes Raser, Prof. Walter Graf, DI Gerhard Danzinger, DI Michael Hanneschläger, Energiefrüchte am Acker – Feldversuch, Endbericht, Bruck/L. Mai, 2009.

http://root.riscompany.net/company/energiepark/html/endbericht_energiefruechte_vom_acker_feldversuch.pdf

Refuel, 2010 Website des Projektes „Refuel“, <http://www.refuel.eu/>, letzter Zugriff im Juni 2010.

Reinhold et al., 2006 Dr. Gerd Reinhold, Prof. Dr. Gerhard Breitschuh, Dr. Lothar Herold, Dr. Wilfried Zorn, Standpunkt Zur Ermittlung der Nährstoffgehalte und zur Nährstoffbilanzierung bei Einsatz von Biogasgülle, 1. Auflage 2006, Herausgeber: Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft Naumburger Str. 98, 07743 Jena, Januar 2006.

Remmele, 2007 Handbuch Herstellung von Rapsölkraftstoff in dezentralen Ölgewinnungsanlagen, Technologie- und Förderzentrum (TFZ) im Kompetenzzentrum für Nachwachsende Rohstoffe, Herausgeber: Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe, Gülzow 2007.

Rippel, 2008 Sicherung der Bodenfruchtbarkeit beim Anbau von Energiepflanzen, 2008.

Schmidhuber J., 2007 Biofuels: An emerging threat to Europe. Notre Europe, Policy Paper 27.

Schmitz N. et al., 2003 Bioethanol in Deutschland, Schriftenreihe Nachwachsende Rohstoffe, Band 21, Landwirtschaftsverlag GmbH, Münster 2003.

Schmitz, N., 2006 Biokraftstoffe - eine vergleichende Analyse, Herausgeber: Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e. V., Gülzow 2006.

Scheider, B., 2003 pro Biogas – Ein Programm zur Berechnung der Wirtschaftlichkeit von Biogasanlagen, 2003.

Schönhart, M., Schmid, E., Schneider, U., 2009 CropRota – A Model to Generate Optimal Crop Rotations from Observed Land Use. Diskussionspapier Nr. DP-45-2009 des Instituts für nachhaltige Wirtschaftsentwicklung der Universität für Bodenkultur Wien.

Schönwiese, C.D., 2008 Meteorologischer Hintergrund III – Extremereignisse aus meteorologisch-statistischer Sicht. promet (Deutscher Wetterdienst), Jahrg. 34, 1-2, 61-65.

Schügerl, 2008 Bedeutung und Realisierbarkeit der Verwendung organischer Reststoffe (Stroh, Schilf, Heu) für eine regionale, autarke Energieversorgung.

Siegl et al., 2010 Thomas Siegl, Hannes Raser, Prof. Walter Graf, DI Gerhard Danzinger, DI Thomas Leo Gstrein, DI Michael Hannessschläger, Folgeprojekt Energiefrüchte am Acker – Feldversuch, Bruck/Leitha, April 2010.

Sing, A.K., Tripathy, R., Chopra, U.K., 2008 Evaluation of CERES-Wheat and Crop-Syst models for water-nitrogen interactions in wheat crop. Agricultural water management 95, 776-786.

Stahl et al., 2005 Bodendruck und Bodenbelastbarkeit, Schriftenreihe der Sächsischen Landesanstalt für Landwirtschaft, Heft 15, 2005.

Statistik Austria, 2010 Agrarstruktur, Flächen, Erträge, http://www.statistik.at/web_de/statistiken/land_und_forstwirtschaft/agrarstruktur_flaechen_ertraege/index.html, letzter Zugriff im Juni 2010.

Steinmüller, 2009 Sonderbericht: „Grüne Bioraffinerie: Gras – ein Rohstoff mit Zukunft“ Erfahrungen aus der Demonstrationsanlage in Utzenaich

Stiegler, 2010a persönliche Mitteilung von Peter Stiegler am 14.12.2010.

Stiegler, 2010b e.mail von Peter Stiegler am 30.09.2010.

Stiegler, 2010c e.mail von Peter Stiegler am 08.07.2010.

Stülpnagel et al., 2007 Dr. Reinhold Stülpnagel, Dr. Christine von Buttla, Doris Wagner, Florian Heuser, Teilprojekt 6 Systemversuch zum Zweikultur-Nutzungssystem auf sechs Standorten im Bundesgebiet, Zwischenbericht 2006, Universität Kassel, FB 11, Fachgebiet Grünlandwissenschaft und Nachwachsende Rohstoffe Steinstr. 19; 37213 Witzenhausen http://www.tll.de/vbp/pdf/uni_kassel.pdf.

Thaler, 2007 Florian Thaler, Ökologische Auswirkungen der Biogasanlage in Prad auf Nährstoffflüsse und Nährstoffversorgung der Wiesen- und Obstkulturen, Laureatsarbeit an der Freien Universität Bozen, August 2007.

Thomas B., 2007 Mini-Blockheizkraftwerke, Vogel Buchverlag, Würzburg 2007.

TLL, 2006 Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft (TLL), Zwischenbericht zum Teilprojekt 1, „Entwicklung und Optimierung von standortangepassten Anbausystemen im Fruchtfolge regime“, 2006 http://www.tll.de/vbp/pdf/teilprojekt_1.pdf.

TLL, 2008 Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft (TLL), Zwischenbericht zum Teilprojekt 1, Entwicklung und Vergleich von optimierten Anbausystemen für die landwirtschaftliche Produktion von Energiepflanzen unter den verschiedenen Standortbedingungen Deutschlands <http://www.tll.de/vbp/pdf/tp12008.pdf>.

Trnka et al., 2006 M. Trnka, J. Eitzinger, G. Gruszczynski, K. Buchgraber, R. Resch, A., Schaumberger, A simple statistical model for predicting herbage production from permanent grassland, 2006 Blackwell Publishing Ltd. Grass and Forage Science, 61,253-271.

Tsuji, G., Hoogenboom, G., Thornton, P., 1998: Understanding Options for Agricultural Production. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, 399p.

TTM, 2002 Technologie Portrait Kraft-Wärme-Kopplung, Institut für Thermische Turbomaschinen und Maschinendynamik, TU Graz, erstellt für energytech.at im Auftrag der Energieverwertungsagentur – E.V.A. und des Bundesministeriums für Verkehr, Innovation und Technologie, Wien, 2002.

TU, 2000 „Energy from Grass“ and other Energycrops, Technical, Economical and Aspects, Vienna University of Technology, Institute of Chemical Engineering, Fuel and Environmental Technology, 2000.

Vogel A. et al., 2006 Analyse und Evaluierung der thermo-chemischen Vergasung von Biomasse, Schriftenreihe Nachwachsende Rohstoffe, Band 29, Landwirtschaftsverlag GmbH, Münster, 2006.

Walla et al., 2005 Walla, C. und Schneeberger, W., Energiepflanzenproduktion in viehlosen Biobetrieben, in Berichte über Landwirtschaft 84/3, S 425, 2005

Werth et al., 2007 Elisabeth Werth, Frieda Niederkofler, Andreas Kasal, ESF–Projekt Biogasinitiative Südtirol II, Teilprojekt Laimburf, Die Nährstoffbilanzin Rodeneck, Endbericht, 2007 http://www.energy-technology.it/files/naehrstoffbilanz_rodeneck_bericht.pdf.

Wiegand, 2010 Zwischenbericht Promotionsvorhaben Stefanie Wiegand, Qualitätsbestimmende Merkmale von Zwischenfrüchten undperennierenden Gräser-/Leguminosen-Mischungen für optimierte Biogaserträge, 2010.

Williams J.R., 1995 The EPIC Model. In: Singh, V.P. (Ed.), Computer Models of Watershed Hydrology. Water Resources Publications, Colorado, pp. 909-1000.

IMPRESSUM

Verfasser

Universität für Bodenkultur Wien -
Institut für Sicherheits- und
Risikowissenschaften

Emmerich Seidelberger
Borkowskigasse 4, 1190 Wien
E-Mail: es@irf.univie.ac.at

Projektpartner

P1. Planschmiede
B. Schneider

P2. Institut für Meteorologie, Universität für
Bodenkultur
H. Formayer, J. Eitzinger

P3. BEB Bioenergie AG
H. Daberge

P4. TU Wien Energiewirtschaft
G. Kalt, L. Kranzl

P5. W. Graf

Eigentümer, Herausgeber und Medieninhaber

Klima- und Energiefonds
Gumpendorfer Straße 5/22
1060 Wien
office@klimafonds.gv.at
www.klimafonds.gv.at

Disclaimer

Die Autoren tragen die alleinige
Verantwortung für den Inhalt dieses
Berichts. Er spiegelt nicht notwendigerweise
die Meinung des Klima- und Energiefonds
wider.

Der Klima- und Energiefonds ist nicht für die
Weiternutzung der hier enthaltenen
Informationen verantwortlich.

Gestaltung des Deckblattes

ZS communication + art GmbH