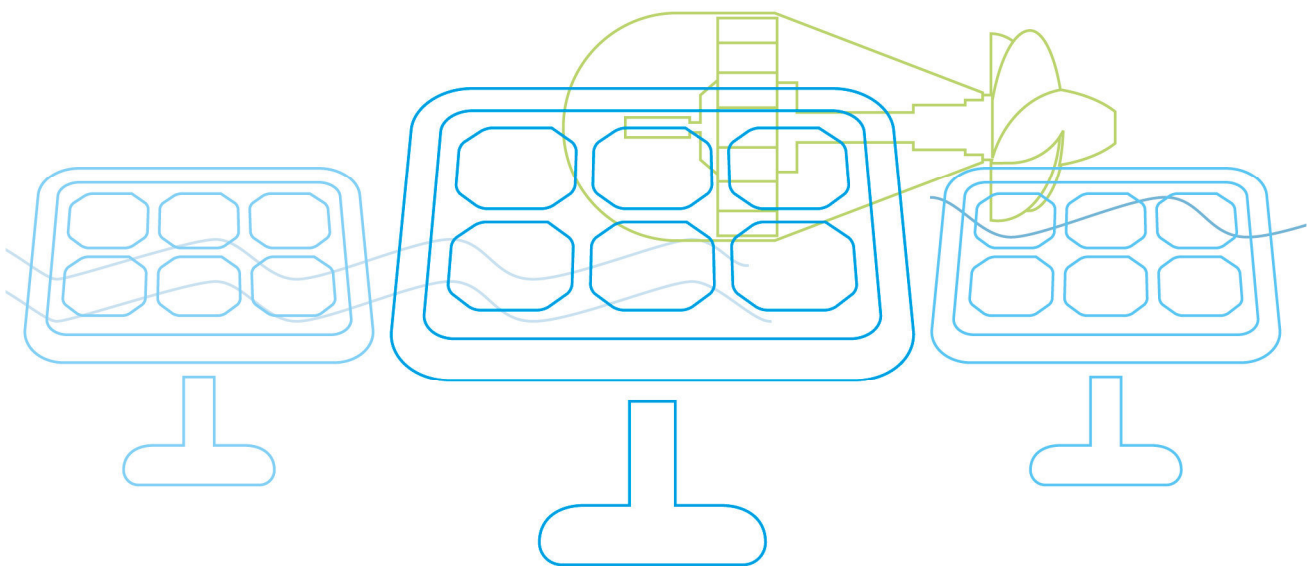




Ökocluster

Klima und Wasserschutz durch
synergetische Biomassenutzung -
Biogas aus Zwischenfrüchten, Rest- und
Abfallstoffen ohne Verschärfung der
Flächenkonkurrenz



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 „Neue Energien 2020“. 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

Inhaltsverzeichnis

1	Kurzfassung	2
1.1	Ausgangssituation und Zielsetzung	2
1.2	Methodische Vorgehensweise	2
1.3	Ergebnisse	2
1.4	Ausblick und Resümee	4
2	Inhaltliche Darstellung	6
2.1	Ausgangssituation/Motivation des Projektes	6
2.2	Zielsetzungen des Projektes	6
2.3	Durchgeführte Arbeiten im Rahmen des Projektes inkl. Methodik	8
2.4	Beschreibung der Ergebnisse	12
2.5	Herausforderungen bei der Projektbearbeitung	38
2.6	„Highlights“ des Projektes	39
2.7	Schlussfolgerungen zu den Projektergebnissen	41
3	Ausblick	43
	Anhang	45

Kurzfassung

1.1 Ausgangssituation und Zielsetzung

Die Biogaserzeugung ist in jüngerer Vergangenheit in die Kritik geraten (z. B. Maisanbau, Ernährungssicherheit, Transportaufkommen). Ein Weg dieser Kritik zu begegnen, wäre Biogas in erster Linie aus Zwischenfrüchten, Gülle oder Grünlandaufwüchsen zu erzeugen. Doch obwohl der Zwischenfruchtanbau gefördert und von vielen Landwirten praktiziert wird, stellt die Biogaserzeugung aus Zwischenfrüchten bisher die Ausnahme dar. Aus diesen Gründen wird im Rahmen des Projektes Syn-Energy untersucht, welche Energiepotenziale durch Biogas aus Zwischenfrüchten bei gleichzeitiger Verbesserung der Klima- und Umweltwirkungen der Landwirtschaft erschlossen werden können. Eine gesteigerte Biomassebildung lässt Verbesserungen der Umwelt- und Klimaschutzeffekte von Zwischenfrüchten erwarten. Ergänzend wird erforscht, welche Anlagensysteme für die Verwertung von Zwischenfrüchten besonders geeignet sind.

1.2 Methodische Vorgehensweise

Zur Untersuchung des Zwischenfruchtanbaus werden auf drei Versuchsstandorten mit unterschiedlichen Bewirtschaftungsformen, Klima- und Bodenverhältnissen Streifenversuche mit dreifacher Wiederholung durchgeführt. In je vier Parzellen der drei Standorte wurden TDR-Sensoren und Gipsblöcke eingebaut. Für jede Parzelle werden die Erträge der Hauptkulturen und Zwischenfrüchte bestimmt und drei- bis viermal pro Jahr $N_{\min}$ -Beprobungen durchgeführt. Neben den Messungen werden mit einem Bodenwasserhaushalts-Stofftransportmodell Berechnungen durchgeführt. Ergänzend wird der ökologische Fußabdruck anhand des Sustainable Process Index ermittelt. Daneben wird die Verwertbarkeit im anlagentechnischen Maßstab erprobt, um eventuelle praktische und technische Probleme zu identifizieren. Das Anbauverfahren wird anschließend in Verbindung mit den Anlagensystemen hinsichtlich seiner Wirtschaftlichkeit und Nachhaltigkeit bewertet und Vorschläge zur Weiterentwicklung erarbeitet. Die Prozessnetzwerksynthese wurde eingesetzt, um unter verschiedenen Anlagenkonzepten, das optimale System für die Verwertung von Zwischenfrüchten zu identifizieren.

1.3 Ergebnisse

Biogas ohne Konkurrenz zur Nahrungsmittelerzeugung: Mit derzeit verfügbarer Technik und Saatgut können 4 - 6 ha Zwischenfrüchte die gleiche Menge Biogas liefern, wie 1 ha Mais. Die Erträge von Zwischenfrüchten, die am Anfang und Ende der Vegetationsperiode Ertrag bilden, sind zwar geringer als bei Hauptkulturen, aber Zwischenfrüchte und Untersaaten können auf fast allen Ackerflächen angebaut und genutzt werden, ohne die Erzeugung

von Nahrungs- oder Futtermitteln einzuschränken. Deshalb entspricht die Menge an Biogas, die aus Zwischenfrüchten bereitstellbar ist, jener Menge, die mit ca. 15 – 20 % Flächenanteil Mais als Hauptkultur produziert werden kann. Sommerzwischenfrüchte brachten in den Jahren 2009 und 2010 im Burgenland und Oberösterreich durchschnittliche Trockensubstanzerträge (TS) von ca. 2,5 - 3 t pro ha und erreichten im Maximum 6 t TS / ha. Winterzwischenfrüchte, die Ende April 2011 geerntet wurden, brachten einen TS-Ertrag von ca. 3 t pro ha. Anfang Mai 2010 waren die Erträge fast 2 t höher und der nachfolgend angebaute Mais brachte nur ca. 10 % geringere Erträge als Mais mit ortsüblichem Anbauzeitpunkt ohne vorhergehende Zwischenfrucht. Die Methanerträge lagen jeweils bei ca. 290 Normliter (nl) pro kg organische TS (oTS) bei Sommerzwischenfrüchten und ca. 315 nl pro kg oTS bei Winterzwischenfrüchten.

Minimierung von Stickstoff-Verlusten durch Nitratauswaschung und Lachgasemissionen: Wenn Zwischenfrüchte für die Biogaserzeugung genutzt werden, sind Landwirte bestrebt, sie möglichst früh anzubauen, um eine optimale Ertragsbildung sicherzustellen. Da üppiges Wachstum der Zwischenfrüchte von einer entsprechenden Stickstoffaufnahme begleitet ist, verbleibt weniger Stickstoff im Boden. Die Stickstoffversickerung wird deshalb um ca. 25% und die Nitratkonzentration im Sickerwasser um ca. 15% im Vergleich zu einem Management ohne Zwischenfruchtanbau reduziert. Hingegen ist bei gut entwickelten Zwischenfruchtbeständen mit hohem Leguminosenanteil bei deren Verbleib am Feld eine Erhöhung der versickernden Stickstoffmenge gegenüber einem Management ohne Zwischenfruchtanbau nicht auszuschließen. Bei Abfuhr der Zwischenfrucht verbleibt in der Regel weniger organische Substanz auf der Fläche als bei Gründüngernutzung. Infolgedessen werden auch die Emissionen von Lachgas um ca. 40 % von ca. 2,4 auf ca. 1,5 kg pro Hektar und Jahr reduziert. Wobei die Höhe der Lachgasemissionen von der Bodenart, vom Bodenwasser-gehalt und den chemischen Eigenschaften der Zwischenfrüchte abhängt und beträchtlich variieren kann.

Reduktion des Einsatzes von mineralischem Stickstoff-Dünger in der Landwirtschaft: Neben der Erhöhung der Stickstoffeffizienz der Anbausysteme kann durch Zwischenfrucht-gemeinschaft mit Leguminosenanteil zusätzlich Luftstickstoff fixiert werden. Einige Zwischenfrucht-gemeinschaften enthielten in der oberirdischen Blattmasse mehr als 100 kg Stickstoff pro ha. Deshalb dürften Fixierungsleistungen von mehr als 50 kg Stickstoff pro ha ohne weiteres erreichbar sein. Bei sachgerechter Ausbringung der Gärreste kann dadurch bei konventioneller Bewirtschaftung mineralischer Stickstoffdünger eingespart werden. Im biologischen Ackerbau steht mit dem Gärrest hingegen ein flexibel einsetzbarer Stickstoffdünger zur Verfügung, der zur Ertragsstabilisierung bei viehloser Bewirtschaftung beiträgt.

Ökologischer Fußabdruck, Humusgehalt und Bodenverdichtungen: Der ökologische Fußabdruck der Biogaserzeugung aus Zwischenfrüchten wurde jenem von Schwarzbrachen einschließlich einer äquivalenten Menge von Erdgas gegenübergestellt, weil ein unmittelbarer Vergleich mit Hauptkulturen wegen der ungünstigeren Wachstumsbedingungen nicht

möglich ist. Nach Aufbereitung auf Erdgasqualität und unter Berücksichtigung der Auswirkungen auf die vorhergehende bzw. nachfolgende Hauptkultur wird der ökologische Fußabdruck durch Biogas aus Zwischenfrüchten um 40 - 50 % reduziert. Wird nach der Vergärung der Zwischenfrüchte in der Biogasanlage eine äquivalente Menge an Gärrest auf die Fläche zurückgebracht, sind im Vergleich zur Gründüngung keine Verschlechterungen der Humusbilanz und im Vergleich zur Schwarzbrache eine Verbesserung des Humusgehaltes zu erwarten. Bei der Beerntung von Zwischenfrüchten sind jedoch Bodenverdichtungen zu vermeiden (z. B. durch moderne Kurzschnittladewagen mit Achtradwalwerk).

Die Nutzung von Zwischenfrüchten ist mit der gegenwärtigen Einspeisevergütung nur mit ÖPUL-Förderung und/oder optimiertem Verfahren rentabel: Die Technik für die Biogaserzeugung ist bisher in erster Linie auf Mais ausgerichtet. Für den Anbau, die Beerntung und Verwertung von Zwischenfrüchten ist deshalb oft nicht die optimale Ausstattung verfügbar. Zudem honoriert die Einspeisevergütung bisher nicht, dass Zwischenfrüchte keine Konkurrenz zur Nahrungsmittelerzeugung verursachen und zusätzlich zur Verringerung landwirtschaftlich bedingter Umweltrisiken beitragen. Deshalb ist die Nutzung von Zwischenfrüchten mit der gegenwärtigen Einspeisevergütung nur unter Berücksichtigung der ÖPUL-Förderung und/oder optimiertem Verfahren rentabel.

Anlagensysteme mit besonderer Eignung für die Verwertung von Zwischenfrüchten: Wegen der niedrigeren Erträge von Zwischenfrüchten pro ha, ist es sinnvoll, zur Verringerung des Transportaufwandes Anlagen nicht zu groß zu dimensionieren. Damit trotzdem hohe Wirkungsgrade bei der Verstromung oder Gasaufbereitung erreicht werden, kann das Biogas von mehreren kleineren Fermentern über Biogasleitungen an einem zentralen Ort gebündelt werden. Auf diese Weise wird entweder eine optimale Nutzung der Abwärme ermöglicht oder eine höhere Rentabilität für die Aufbereitung von Biogas für z. B. die Nutzung als Treibstoff erreicht. Beim wirtschaftlichen Vergleich derartiger Systeme mit Anlagen üblichen Typs (500 kW_{el.}; 70 % Mais als Substrat; Abwärmenutzung mittels Nahwärmeleitung von 1,1 km) zeigte sich, dass letztere je nach Preisniveau bis 20 % schlechter abschneiden oder gleich auf liegen. Aus ökologischer und volkswirtschaftlicher Sicht sind die hier vorgeschlagenen Anlagensysteme allerdings deutlich überlegen, denn der ökologische Fußabdruck ist um ca. 60 % niedriger.

1.4 Ausblick und Resümee

Landwirtschaft: Da die Erzeugung von Nahrungs- und Futtermitteln nicht beeinträchtigt wird, kann die Biogaserzeugung aus Zwischenfrüchten zur Erhöhung der Produktivität von Ackerflächen und somit zur Erschließung zusätzlicher Wertschöpfungspotenziale beitragen.

Rahmenbedingungen: Die Biogaserzeugung aus Zwischenfrüchten ist noch kein Selbstläufer, weil die aktuellen Bedingungen kaum motivieren, die Potenziale auszuschöpfen. Da-

her sind Anreize zu schaffen, die die Überwindung von Hürden für die praktische Umsetzung erleichtern und Landwirte zu Investitionen in geeignete Technik motivieren.

Anbau-, Ernte-, Konservierungs- und Biogastechnik: Für den kostengünstigen Anbau und die bodenschonende Beerntung fehlt vielen Betrieben die geeignete Technik (z. B. Direktsaatgeräte, Kurzschnittladewagen). Hinzu kommt, dass auch für die Silierung und Verwertung die Konzeption und Technik der Biogasanlage angepasst werden muss. Bei Beerntung mit Ladewagen ist z. B. eine Silofräse oder mechanische Aufbereitung im Einbringsystem erforderlich.

Pflanzenbau und Betriebsmanagement: Die fachlichen Anforderungen an die Betriebsleiter steigen, denn der Anbau der Zwischenfrüchte sollte stets unmittelbar nach der Ernte der Hauptkulturen, also in Zeiten mit ohnehin schon hoher Arbeitsbelastung erfolgen. Auch im Herbst oder Ende April sind die Zeitfenster für die Beerntung witterungsbedingt häufig kurz. Zusätzlich ist bei der Auswahl der Zwischenfrüchte das Risiko von Fruchtfolgekrankheiten so gering wie möglich zu halten.

Stickstoffemissionen: Mit der Biogaserzeugung aus Zwischenfrüchten wird nicht nur erneuerbare Energie bereitgestellt, sondern auch ein Beitrag zum Wasser- und Klimaschutz in der Landwirtschaft geleistet (Reduktion des Nitratauswaschungs- und Lachgasemissionsrisikos).

Ökonomie: Derzeit ist Biogas aus Zwischenfrüchten mit betriebsüblicher Technik nur unter günstigen Bedingungen rentabel. Auch wenn Landwirte und Biogasanlagenbetreiber in besser geeignete Technik investieren, sind die erzielbaren Gewinne niedriger als bei der Biogaserzeugung aus Mais, obwohl die volkswirtschaftlichen Leistungen deutlich höher sind. Die Einführung einer höheren Vergütung z. B. in Form eines Bonus würde die Motivation deutlich verbessern. Ein derartiger Bonus ist aus Gründen der Nachhaltigkeit mehr als gerechtfertigt und würde zur Weiterentwicklung von Anbau- und Erntetechnik beitragen.

2 Inhaltliche Darstellung

2.1 Ausgangssituation/Motivation des Projektes

Die Nutzung nachwachsender Rohstoffe für die Energieerzeugung wurde in jüngerer Vergangenheit kritisch diskutiert. Sie wird für steigende Lebensmittelpreise und für die Gefährdung der Versorgungssicherheit verantwortlich gemacht. Darüber hinaus wird kritisiert, dass durch die Biogaserzeugung die Bewirtschaftungsintensität und der Maisanteil in den Fruchtfolgen steigen und dadurch entsprechende Risiken für den Umwelt- und Naturschutz entstehen. Andererseits ist die energetische Nutzung von nachwachsenden Rohstoffen, die als Hauptkultur angebaut werden, auch aus betriebswirtschaftlichen Gründen schwierig, weil sich gestiegene Preise für landwirtschaftliche Erzeugnisse und Betriebsmittel negativ auf die Rentabilität auswirken.

Daher ist es naheliegend, vor allem jene Formen der Biomasse für die Energieversorgung zu nutzen, die nicht in Konkurrenz zur Nahrungsmittelerzeugung stehen:

1. Eine Option stellen Zwischenfrüchte dar, die in übliche Fruchtfolgen der Nahrungs- und Futtermittelbereitstellung integriert und vor oder nach Körnerdruschfrüchten, Kartoffeln, Mais, Zuckerrüben und anderen Hauptkulturen angebaut werden.
2. Die energetische Nutzung von Wirtschaftsdünger, Grünlandaufwüchsen, die nicht für die Fütterung geeignet sind oder dafür benötigt werden sowie anderen Rest- und Abfallstoffen (z. B. Stroh, Gemüseabfälle) ist eine weitere Option.

Zwischenfrüchte, Gülle und Grünschnitt werden auch jetzt schon in geringem Maße für die Biogaserzeugung genutzt. Der ausschließliche Betrieb von Anlagen mit diesen Substraten scheitert jedoch am Zusammenspiel einer Vielzahl von Problemen. Sie beginnen bei pflanzenbaulichen Fragen (z. B. Versorgung mit Wasser, Ertragssicherheit), schließen das Fehlen geeigneter Anbau- und Erntetechnik (z. B. Direktsaatmaschinen, hohe Wassergehalte von Zwischenfrüchten, Vermeidung von Bodenverdichtungen) ein, bedingen ein Anpassen des Betriebsmanagements und überbetriebliche Kooperation (z. B. Vermeiden einer Verschärfung von Arbeitsspitzen) und reichen bis zur Konservierungs- und Biogastechnik. Darüber hinaus scheiterte die Nutzung häufig auch an geringerer Rentabilität im Vergleich zur Biogaserzeugung aus Mais.

2.2 Zielsetzungen des Projektes

Tabelle 1 Teilziele des Projektes

AP	Teilziele der einzelnen Arbeitspakete
1	• Integration von Zwischenfrüchten in Fruchtfolgen der Nahrungsmittelversorgung auf Ackerbaustandorten im Burgenland, in Oberösterreich und der Steiermark • Optimierung des Anbaus der Zwischenfrüchte sowie der Hauptkulturen nach den Kriterien der Nachhaltigkeit und Wirtschaftlichkeit • Etablierung der Saaten nach den Prinzipien der konservierenden Bodenbearbeitung und be-

	sondere Berücksichtigung von Bodenschutzzielen bei der Ernte
2	• Ermittlung des Biogaspotenzials bzw. der erzielbaren Methanerträge sowie allgemeine Beurteilung des Fermentationsprozesses unüblicher Zwischenfruchtgemenge aus AP 1 und 4 • chemische Charakterisierung unüblicher Zwischenfruchtaufwüchse bzw. der daraus hergestellten Silagen anhand ausgewählter Parameter • Begleitende Analytik zu den Batchgärversuchen im Labor (Substrat und Biogas) • Ermittlung ausgewählter chemischer Parameter für die Erstellung von Bilanzen (C, N) • Analyse der Bodenproben auf N_{min}, Wassergehalt und Gesamtstickstoff (nur einmalig) • Ermittlung des Humusgehalts zu Projektbeginn als Ausgangswert für die Humusbilanzierung
3	• Monitoring der Umwelteffekte des Anbaus und der Ernte der Zwischenfrüchte (N_{min}-Gehalte, Bodenstruktur, Humusgehalt und -bilanz) im Vergleich zu üblichen Verfahren und Fruchtfolgen • Ermittlung der Effekte der Biogaserzeugung aus Zwischenfrüchten auf den Bodenwasserhaushalt, die Stickstoffverlagerung in den Untergrund und die daraus resultierende Nitratkonzentration im Sickerwasser im Vergleich zu ortsüblichen Fruchtfolgen • Abschätzung der Effekte des Anbaus und der energetischen Nutzung von Zwischenfrüchten auf Lachgasemissionen anhand aktueller wissenschaftlicher Erkenntnisse (Literaturauswertung)
4	• Bewertung der technischen Verwertbarkeit von Zwischenfruchtaufwüchsen im Praxisbetrieb. • Identifikation von Anpassungsbedarf bzw. Anpassungsmöglichkeiten vorhandener Technik von der Ernte bis zur Verwertung in der Anlage. • Bewertung der Machbarkeit technischer Anpassungen und Neuentwicklungen in den Bereichen Ernte-, Konservierungs- und Fermentertechnik mit Landmaschinen- und Anlagenherstellern
5	• Konzeption von Anlagensystemen für die kombinierte Verwertung von Zwischenfruchtaufwüchsen mit sonstiger landwirtschaftlicher Biomasse, die ohne Konkurrenz zur Nahrungsmittelerzeugung nutzbar ist (Gülle, Grünschnitt, Stroh etc.). • Optimierung der Rohstoffversorgungskette (Minimierung des Erfassungs- und Transportaufwandes) als Schlüsselparameter für die Optimierung von Biogasanlagensystemen (Wirtschaftlichkeit, Nachhaltigkeit und Klimarelevanz). • Beiträge zur Erreichung eines maximalen Erschließungsgrades von Gülle und anderen landwirtschaftlichen Rest- und Abfallstoffen durch die Steigerung des regional nutzbaren Biomasseaufkommens und dezentrale Anlagensysteme.
6	• Bewertung der konzipierten Modellansätze und Identifizierung von optimalen Lösungen • Sensitivitätsanalyse hinsichtlich ausgewählter Inputparameter • Bewertung der Wirtschaftlichkeit und Nachhaltigkeit des Anbaus und der Verwertung von Zwischenfrüchten für die energetische Verwertung • Bewertung von Anlagensystemen zur dezentralen Biomasseerfassung und zentralen Verwertung oder Regelergiebereitstellung
7	• Entwicklung von Strategien für die Nutzung der Potenziale von Zwischenfrüchten für die Erzeugung von Biogas und der Reduktion von klimaschädlichen Emissionen • Zusammenführung der Einzelergebnisse zur abschließenden und integrierenden Bewertung. Beschreibung der Bereiche und Themen mit weiterem Forschungs- und Entwicklungsbedarf • Dissemination der Projektergebnisse und Einbeziehung von interessierten Biogasanlagenbetreibern, Landwirten und anderen relevanten Akteuren aus Wirtschaft und Verwaltung

Im Rahmen des Projektes Syn-Energy wird untersucht, welche Energiepotenziale durch die Erzeugung von Biogas aus Zwischenfrüchten bei gleichzeitiger Verbesserung der Klima- und Umweltwirkungen der Landwirtschaft erschlossen werden können (AP1-7).

Es wird bewusst die gesamte Wertschöpfungskette in die Untersuchung einbezogen, damit pflanzenbauliche, technische, ökologische und ökonomische Problembereiche, die einer breiten Nutzung entgegenstehen und gegebenenfalls weiterer Forschung und Entwicklung bedürfen, identifiziert werden können (AP4). Darüber hinaus wird ermittelt, inwieweit die Ressourcen- und

Energieeffizienz der Landwirtschaft verbessert und Synergieeffekte mit der Wasserwirtschaft sowie dem Umwelt- und Klimaschutz erschlossen werden können (AP3, AP6).

Ergänzend wird erforscht, welche Anlagensysteme für die kombinierte Verwertung von Zwischenfrüchten mit Gülle und anderen landwirtschaftlichen Rest- und Abfallstoffen besonders geeignet sind (AP5). Dadurch soll die Biogaserzeugung im Sinne einer integrierten Rohstoffnutzung ohne Konkurrenz zur Nahrungsmittelerzeugung künftig auch in Kleinregionen ermöglicht werden, in denen dies bisher wegen der geringen Verfügbarkeit und Transportwürdigkeit der Biomasse nicht möglich war (AP6, AP7).

2.3 Durchgeführte Arbeiten im Rahmen des Projektes inkl. Methodik

AP1 - Optimierung von Anbausystemen durch die Integration von Zwischenfrüchten, die für die Biogaserzeugung genutzt werden

Auf drei typischen Ackerbaustandorten Österreichs (Güssing, Hasendorf/Leibnitz, Thalheim/Wels) wurden Streifenversuche mit je drei Wiederholungen (Block A, B und C) und acht bis zehn Varianten angelegt.

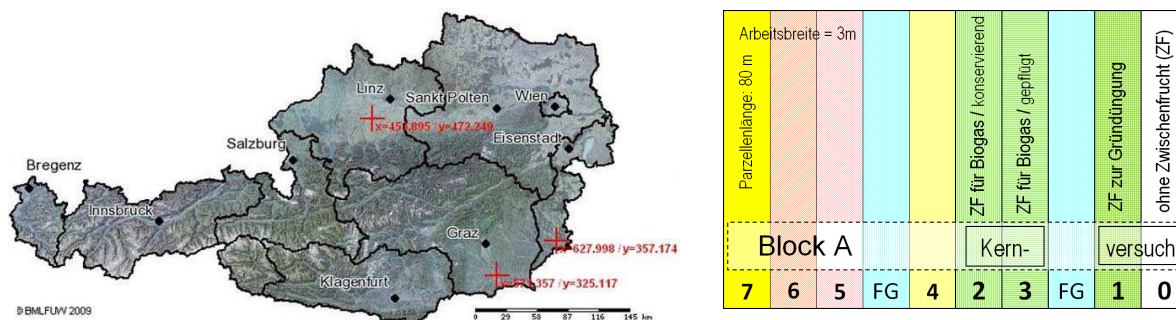


Abbildung 1 geografische Lage und Design des Hauptblocks der drei Streifenversuche

Die 8 Varianten unterscheiden sich hinsichtlich des Zwischenfruchtanbaus und der Bodenbearbeitung (Pflug, konservierend = pfluglos):

- V0 = ohne Zwischenfrucht
- V1 = Zwischenfrucht zur Gründüngung
- V2 = Zwischenfrucht für die Biogaserzeugung und konservierendes Anbauverfahren
- V3 = Zwischenfrucht für die Biogaserzeugung und Bodenbearbeitung mit dem Pflug

Die Zwischenfrüchte bzw. Zwischenfruchtgemenge der Varianten 1 bis 3 sind identisch. Im Streifenversuch Hasendorf/Leibnitz wird auch die Variante 4 mit der gleichen Zwischenfrucht bestellt, jedoch im Gegensatz zu den anderen Varianten nicht gedüngt. Auf den übrigen Varianten werden weitere Zwischenfruchtgemenge hinsichtlich ihres Ertrags und der Auswirkungen auf die Folgekultur untersucht. Die Fahrgassen (FG) werden für die Untersuchung ungewöhnlicher Zwischenfruchtmischungen genutzt. Die Hauptkulturen sind auf allen Parzellen gleich, werden jedoch nach Winterzwischenfrüchten bei V0 und V1 früher angebaut. Die Bodenbearbeitung, der Anbau, die Pflege und Beerntung werden mit Praxistechnik durchgeführt. Die Ertragsermittlung (jeweils Frisch- und Trockenmasse) wird mit Meterschnitten durchgeführt. Lediglich beim Weizen wurde der Ertrag der gesamten Parzellen mit einem

praxisüblichen Mähdrescher und anschließender Wiegung ermittelt. Der Verzicht auf den Pflug wird angestrebt und untersucht, weil dadurch eine Verringerung des Erosionsrisikos, eine höhere Infiltrationsleistung, bessere Befahrbarkeit der Böden und ökonomische Vorteile erwartet werden und gleichzeitig wegen des intensiven Zwischenfruchtanbaus kein höherer Pflanzenschutzaufwand zu erwarten ist.

Die Streifenversuche wurden mit Messtechnik (siehe AP3) ausgestattet. Für alle Standorte wurden bodenphysikalische Untersuchungen durchgeführt und der Humusgehalt und pH-Wert bestimmt. An den Standorten Thalheim/Wels und Güssing wurden 2009 mit praxisüblicher Technik Sommerzwischenfrüchte und im Jahr 2010 Gemenge aus Sommer- und Winterzwischenfrüchten angebaut, beerntet, beprobt und analysiert. In der Steiermark wurden jeweils Winterzwischenfrüchte angebaut. Die Fruchtfolgegestaltung und Auswahl der Zwischenfruchtgemenge erfolgte mit den Versuchslandwirten und lokalen Partnern (z. B. Lehrern der landwirtschaftlichen Fachschule und Mitarbeitern der Landwirtschaftskammer, landwirtschaftlichen Umweltberatung oder der oberösterreichischen Wasserschutzberatung). Details der Fruchtfolgegestaltung sind in der nachfolgenden Tabelle dargestellt:

Tabelle 2 Fruchtfolgegestaltung auf den drei Versuchsstandorten in Güssing (BGLD), Thalheim/Wels (OÖ) und Hasendorf/Leibnitz (Stmk) mit Anbau und Ernteterminen

	Güssing (BGLD)	Thalheim/Wels (OÖ)	Hasendorf/Leibnitz (STMK)
Hauptkultur 2009	Winterraps	Wintergerste	Öl-Kürbis
Zwischenfrucht 2009/2010 (ZF)	Sommer-ZF-Gemenge Anbau 28.7. – Ernte 16.10.	Sommer-ZF-Gemenge Anbau 23.7. – E. 15.10.	Winter-ZF Anbau 13.9. - Ernte 3.5.
Hauptkultur 2010	Winterweizen 2 Varianten mit Untersaat (Anbau Untersaat 7.4. schlecht entwickelt)	Winterweizen 2 Varianten mit Untersaat (Anbau U. 9.4. - 16.10.)	Mais (Anbau V0, V1 20.4. sonst 4.5.)
ZF 2010/2011	Gemenge aus Sommer- u. Winter-ZF (Anbau 20.7. und zweimalige Beerntung 11.10. und 26.4.)	Gemenge aus Sommer- u. Winter-ZF (Anbau 12.8. Totalausfall)	Winter-ZF Anbau 1.10. - Ernte 26.4.
Hauptkultur 2011	Mais	Mais mit Untersaat	Öl-Kürbis mit Untersaat

AP2 - Ermittlung des Biogaspotenzials von Zwischenfrüchten und begleitende Analytik

Im Zuge der Ertragsermittlung auf den Streifenversuchen und einzelnen Flächen von Praktikern wurden Pflanzenproben von den Haupt- und Zwischenfrüchten entnommen, der Trockensubstanzgehalt bestimmt und der Gesamtkohlenstoff- und Stickstoffgehalt ermittelt. Von 18 Zwischenfrüchten wurden Proben eingefroren und Batchgärversuche durchgeführt. Von den mehrmals pro Jahr gezogenen Bodenproben wurde der N_{min} - Gehalt und teilweise auch der Wassergehalt gemessen. Diese Analysen bildeten die Grundlage für die Ableitung von Hinweisen für die **Optimierung des Ertrags** der Hauptkulturen (Menge, Trockenmassegehalt, Qualität) und der Zwischenfrüchte (Energieertrag, Trockenmassegehalt, Bewertung der Eignung für die energetische Nutzung in Zusammenarbeit mit Praktikern)

AP3 - Bewertung der Effekte für den Klima- und Wasserschutz

Auf vier Parzellen (V0-V3) eines Blocks der drei Streifenversuche wurden TDR¹-Sensoren und Gipsblöcke eingebaut. Zusätzlich wurden die bodenphysikalischen Parameter Korngrößenverteilung, Feststoffdichte, Lagerungsdichte, Substanzanteil, Porenanteil, Wasseranteils-/Saugspannungsbeziehung (pF), die hydraulische Leitfähigkeit des gesättigten bzw. teilgesättigten Bodens und die bodenchemischen Kenngrößen Humusgehalt, pH-Wert und Karbonatgehalt bestimmt. In Verbindung mit den regelmäßig durchgeführten N_{min}-Untersuchungen bildeten diese Daten die Grundlage für die Modellierung mit einem kombinierten Bodenwasserhaushalt-Stofftransportmodell und Ermittlung der *Auswirkungen des Zwischenfruchtbaus auf das Nitratauswaschungs- und Lachgasemissionsrisiko*. Die N_{min}-Untersuchungen dienten auch der Düngeplanung und optimalen Nutzung des verfügbaren Wasser- und Nährstoffangebots. Die Methodik ist im Anhang detailliert beschrieben.

AP4 - Bewertung der technischen Verwertbarkeit von Zwischenfrüchten und Anpassung der Ernte-, Konservierungs- und Fermentertechnik im anlagentechnischen Maßstab

Für die Bewertung der praktischen Nutzbarkeit wurden von kooperierenden Landwirten auf ganzen Schlägen Zwischenfruchtgemenge für die Biogaserzeugung angebaut: Im Jahr 2009 insgesamt 52,7 ha und im Jahr 2010 insgesamt 67,2 ha. Wegen der ungünstigen Witterungsbedingungen ab Ende Juli konnte 2010 ein Teil der Zwischenfrüchte erst sehr spät angebaut oder wegen der unzureichenden Befahrbarkeit der Flächen nicht beerntet werden. Auf Basis der gesammelten Erfahrungen wurden Empfehlungen für die Anpassung der Ernte-, Konservierungs- und Fermentertechnik erarbeitet.

AP5 - Konzeption von Anlagensystemen für die kombinierte Verwertung von Zwischenfrüchten mit Gülle, Grünschnitt, Stroh etc.

In Zusammenarbeit mit Anlagenplanern, Anlagenbetreibern, Bauunternehmen, Landtechnikherstellern, Nahwärmenetzbetreibern und Landwirten wurden Anlagensysteme konzipiert, die für die kombinierte Verwertung von Zwischenfruchtaufwüchsen mit sonstiger landwirtschaftlicher Biomasse besonders geeignet sind. Hierfür wurden Daten zur technischen Ausstattung, Bau und Betriebskosten, Betriebssicherheit und Praxistauglichkeit von geeigneten Anlagentypen erfasst und mit technischen und ökonomischen Daten des Gastransports in Biogasleitungen verknüpft. Ergänzend wurden Möglichkeiten des Gülletransports in Leitungen geprüft. Um möglichst hohe Praxisnähe und Aussagekraft sicherzustellen, wurde die Anknüpfung an konkrete Anlagenplanungen gesucht. Für den oberösterreichischen Kurort Bad Zell flossen die erarbeiteten Anlagenkonzepte in die Erstellung einer Machbarkeitsstudie ein, die von den Betreibern des Nahwärmenetzes Bad Zell und Landwirten erarbeitet wurde. In Tobaj bei Güssing wurden für eine Biogasanlage, die derzeit gebaut wird, die Kosten für den Bau einer Biogasleitung und des Gastransports abgeschätzt, um für die Anlage eine optimale Wärmenutzung sicherstellen zu können.

¹ Time Domain Reflectometry – Messverfahren zur Feuchtebestimmung

Neben den bisher meist realisierten Anlagensystemen (BHKW mit einer elektrischen Leistung von 500 kW oder größer in unmittelbarer Nähe des Fermenters) wird insbesondere die räumliche Trennung von Fermenter und BHKW mittels Biogasleitung untersucht, damit Fermenter zur Verringerung des Transportaufkommens klein gehalten und mehrere Fermenter in einem zentralen BHKW mit optimaler Abwärmenutzung gebündelt werden können. Welche Anlagenkombinationen an welchen Standorten bei einer definierten Menge verfügbarer Rohstoffe verschiedener Lieferantengruppen und möglichen Substratzusammensetzungen die höchste Rentabilität aufweisen, wird mit Hilfe der Prozessnetzwerksynthese (PNS) untersucht. Ausgangsbasis der Optimierung ist die sogenannte Maximalstruktur. Es handelt sich hierbei um ein Netzwerk, das die verfügbaren Rohstoffe sowie alle in Frage kommenden Technologien mit entsprechenden Verschaltungsmöglichkeiten enthält und die Rahmenbedingungen und Anforderungen an das Netzwerk berücksichtigt. Diese Maximalstruktur dient der PNS als Grundlage für die Optimierung mittels Kosten-Nutzen-Analyse bei der sowohl Investitions- als auch Betriebs- und Transportkosten berücksichtigt werden. Die dadurch erhaltene sogenannte Optimalstruktur wird eingehend geprüft und dient als Grundlage, um Szenarien zu bilden und um beispielsweise zu zeigen, wie stabil das Optimum ist bzw. ab wann es zu einer wesentlichen Veränderung des Gesamtbildes kommt. In diesem Schritt ist es auch möglich, neue Überlegungen einzubauen und die Optimalstruktur neu zu berechnen oder das Ergebnis an spezielle Rahmenbedingungen oder Erfordernisse anzupassen. Die Eingangsdaten für die PNS sind im Anhang ausführlich beschrieben.

AP 6 - Optimierung der Anlagensysteme und Ermittlung von Kennzahlen für die Wirtschaftlichkeit und Nachhaltigkeit

Auf Basis der Daten der Arbeitspakete 1 bis 5 wurden der volkswirtschaftliche Nutzen sowie die Synergie- und Umwelteffekte, die durch den Anbau und die kombinierte Verwertung der Zwischenfruchtaufwüchse mit landwirtschaftlichen Rest- und Abfallstoffen erzielt werden können, ermittelt. Für die Beurteilung der Nachhaltigkeit und die Ermittlung des ökologischen Fußabdrucks wird die Methode des Sustainable Process Index (SPI) verwendet.

Der SPI wurde von Krotscheck und Narodoslowsky entwickelt und 1995 publiziert (Krotscheck und Narodoslowsky, 1995). Mittels SPI ist es möglich den ökologischen Fußabdruck von Produkten oder Dienstleistungen zu berechnen. Das Ergebnis des SPI liefert die (Fußabdruck)fläche, die nötig ist, um den betrachteten Prozess nachhaltig in die Ökosphäre einzubetten. Ein hoher Fußabdruck bedeutet, dass die Umwelt stark belastet wird. Die Berechnung der Flächen orientiert sich an natürlichen Wiedererneuerungsraten von Rohstoffen und Kompartimenten (Luft, Wasser und Boden). Somit werden Ressourcenverbrauch als auch Emissionen in einem Fußabdruck erfasst.

Basierend auf Life Cycle Inventory (LCI) Daten aus Lebenszyklusanalysen (LCA) kann der SPI auch benutzt werden, um die Ergebnisse der Lebenszyklusanalyse anhand eines Fußabdrucks darzustellen und entsprechende Vergleiche durchzuführen.

Der Fußabdruck wurde Mittels SPIONExcel (Sandholzer et al., 2005; <http://spionexcel.tugraz.at>) berechnet. Um die Auswirkungen der Biogasproduktion aus Zwischenfrüchten zu bewerten, muss die gesamte Fruchtfolge betrachtet und auf die gegensei-

tige Beeinflussung von Haupt- und Zwischenfrucht geachtet werden. Ein direkter Vergleich von Hauptfrucht (z. B. Mais) und Zwischenfrucht ist nicht möglich, weil Zwischenfrüchte bei geringeren Temperaturen und mit weniger Sonnenstunden wachsen. Deshalb wurden kombinierte Systeme miteinander verglichen. Im Referenzsystem wird die Hauptkultur ohne Zwischenfrucht angebaut. Im System 1 wird statt der Schwarzbrache eine Zwischenfrucht mit vorhergehender konservierender Bodenbearbeitung angebaut und mit Häcksler beerntet. Im System 2 wird auch bei der Hauptkultur auf den Pflug verzichtet. Zudem wird die Zwischenfrucht mit Direktsaattechnik angebaut und mit Kurzschnittladewagen beerntet. In beiden Fällen werden die Zwischenfrüchte der Biogasnutzung zugeführt und das Biogas auf Erdgasqualität aufbereitet, damit es mit dem Referenzsystem verglichen werden kann, dem die gleiche Menge an Methan aus Erdgas zugerechnet wird.

Tabelle 3: Übersicht der Zwischenfruchtsysteme zur SPI-Bewertung

	System 1		System 2		Referenz
	Haupt- und Zwischenfrucht		Haupt- u. Zwischenfrucht optimiert		ohne ZF
Fruchtfolgestellung	Hauptkultur	Zwischenfrucht	Hauptkultur	Zwischenfrucht	Hauptkultur
Bodenbearbeitung / Anbautechnik	Pflug	konservierende Bodenbearbeitung	konserv. Bodenbearbeitung	Direktsaat	Pflug
Beerntung	Häcksler / Mährescher	Häcksler	Häcksler / Mährescher	Kurzschnitt-ladewagen	Häcksler / Mährescher
Energiebereitstellung		gereinigtes Biogas mit Erdgasqualität		ger. Biogas mit Erdgasqualität	äquivalente Menge Erdgas

Der ökologische Fußabdruck wurde sowohl für Sommerzwischenfrüchte mit der Hauptkultur Winterweizen und für Winterzwischenfrüchte mit der Hauptkultur Mais berechnet. Die Bewertung der Zwischenfrüchte floss dann in die Berechnung der Anlagenstrukturen von AP5 ein.

AP7 - Synthese der Einzelergebnisse, Strategieentwicklung, Dissemination und Projektmanagement

Die Ergebnisse der einzelnen Arbeitspakete wurden zusammengeführt und Strategien für den weiteren Ausbau der Biogaserzeugung aus Zwischenfrüchten und landwirtschaftlichen Reststoffen abgeleitet sowie Empfehlungen für die Beratung formuliert. Neben der Veröffentlichung in einschlägigen Zeitschriften und Journalen wurden die Ergebnisse mit Experten und Praktikern im Rahmen geeigneter Veranstaltungen diskutiert.

2.4 Beschreibung der Ergebnisse

2.4.1 Optimierung von Anbausystemen durch die Integration von Zwischenfrüchten, die für die Biogaserzeugung genutzt werden

Nachfolgend werden lediglich die Mittelwerte der Erträge und Trockensubstanzgehalte der Zwischenfrüchte und Hauptkulturen dargestellt. Im Anhang sind jeweils grafische Darstellungen mit den Ergebnissen der statistischen Auswertung zu finden.

Die Trockenmasseerträge der gut entwickelten Sommerzwischenfruchtvarianten 2009 lagen auf beiden Standorten bei ca. 3,5 t TS/ha mit einem TS-Gehalt von ca. 15 % (ohne vorheri-

ges Anwelken). Bei der Beerntung mit Praxistechnik sind von diesen Werten noch entsprechende Ernteverluste abzuziehen, sodass für die betriebswirtschaftliche Berechnung Trockenmasseerträge zwischen 2,5 und 3 t TS/ha angesetzt werden können. Neben den TS-Gehalten wurden von den Zwischenfrüchten auch der Kohlenstoff-, Stickstoff- und Wasserstoff-Gehalt ermittelt. Der Vorfruchtwert, insbesondere die Stickstoff-Fixierungsleistung von Leguminosenanteile wurde mit Schätzformeln ermittelt.

Tabelle 4 Erträge der Sommerzwischenfrüchte 2009 und des nachfolgenden Weizens auf dem Streifenversuch Güssing (BGLD)

Varianten	Zwischenfruchtgemenge Bgld (Saatstärke kg/ha)	Sommerzwischenfrüchte 2009		Winterweizen 2010	
		t TS/ha	TS %	t / ha	Feuchte %
0	Kontrolle ohne ZF			5,1	12,8
1	Raygras/ Buchweizen (40)	1,8	22,9	1,9	13,6
2	Raygras/ Buchweizen (40)	1,6	23,2	1,3	13,2
3	Raygras/ Buchweizen (40)	1,5	23,2	4,2	12,7
4	Hafer/Erbse/S-Blume/W-Roggen (190)	1,4	21,4	5,0*	12,4
5	Alexandrinerklee/Knautgras (34)	3,6	16,0	6,1	12,7
6	Hirse/Rotklee (20)	2,3	14,0	5,9*	12,6
7	Sudangras/Phacelia (31)	3,6	17,3	4,7**	12,3

* mit Untersaat: Weißklee/Gelbklee/Winterwicke/Inkarnatklee/Dt. Weidelgras/Wiesenschwingel (74)

** mit Untersaat: Rotklee/Luzerne/Knautgras/Wiesenlieschgras (30)

**Tabelle 5 Erträge des Gemenges aus Sommer- und Winterzwischenfrüchte 2010/2011 mit zweimaliger Be-
erntung auf dem Streifenversuch Güssing (BGLD)**

Varianten	Gemenge aus Winter- und Sommerzwischenfrüchten Bgld	TS-Ertrag 11.10.10	TS %	TS-Ertrag 4.5.11	TS %	TS-Ertrag gesamt	TS %
2	Winterrübe/Grünschnittroggen/Johannisroggen/Winterwicke/Alexandrinerklee/Mungo/Sudangras (73)	2,6	17%	1,8	22%	4,4	19%
3	Winterrübe/Grünschnittroggen/Johannisroggen/Winterwicke/Alexandrinerklee/Mungo/Sudangras (73)	3,5	20%	2,2	21%	5,6	20%
4	Sudangras/Perko/Rotklee/Luzerne (13)	2,7	33%	2,2	19%	4,9	26%
5	Rotklee/Wi.-rübse/Triticale/Johannisroggen/Alex. klee/Ölrettich/Sonnenblume (54)	3,4	16%	2,7	17%	6,1	17%
6	Inkarnatklee/Grüns.-roggen/Johannisroggen/Sudangras/Peluschke (108)	2,8	18%	2,5	21%	5,3	20%
7	Alex.-klee/Inkarnatklee/Wickroggen (74)	3,2	20%	2,3	18%	5,6	19%
Mittel		3,0	20%	2,3	20%	5,3	20%

In **Güssing** war die Witterung im Juni und Juli 2009 durch außergewöhnlich starke Niederschläge gekennzeichnet. Deshalb musste die Vorfrucht Raps auf dem schweren Boden spät und trotzdem noch unter sehr feuchten Bedingungen mit entsprechenden Bodenverdichtungen gedroschen werden. Die Zwischenfruchtbestände entwickelten sich deshalb sehr heterogen und die Ertragsbildung blieb bei vier Varianten deutlich hinter dem Ertragspotenzial zurück. Beim nachfolgenden Weizen wurde auch auf den Varianten ohne vorhergehende Pflugfurche auf eine Gräserbekämpfung verzichtet. Das Raygras der Varianten 1 und 2 hatte deshalb deutliche Mindererträge beim Weizen zur Folge. Die Untersaaten die Anfang April im Weizen in den Varianten 4 und 7 ausgesät wurden, entwickelten sich auf dem verdichteten Boden nur sehr zögerlich und hatten keine negativen Auswirkungen auf den Weizener-

trag. Wegen der schlechten Entwicklung wurden jedoch Zwischenfrüchte ohne Bodenbearbeitung in die Untersaaten nachgesät. Die übrigen Varianten wurden für den Zwischenfruchtanbau nur gegrubbert.

Im Sommer 2010 konnte der Weizen in Güssing noch vor Einsetzen der Niederschläge beerntet werden. Mit der nachfolgenden feuchten und kühlen Witterung kamen Körnerleguminosen gut zurecht und die Erträge der ersten Beerntung im Oktober lag im Schnitt bei 3 t TS/ha. Der zweite Schnitt im Frühjahr blieb mit durchschnittlich 2,3 t/ha hinter den Erwartungen zurück, weil das Frühjahr bis zum 24. April zu trocken war. Die nachfolgend einsetzenden Niederschläge konnten dies nicht mehr kompensieren und führten zu Verzögerungen des Maisanbaus. Trotz des ca. 3 Wochen späteren Anbaus nach Bodenbearbeitung mit Zinkenrotor erreichten die Maiserträge jedoch das gleiche Niveau wie die Varianten 0 und 1. Es wurde jedoch eine Sorte mit niedrigerer Reifezahl angebaut.

Tabelle 6 Erträge der Sommerzwischenfrüchte 2009 und des nachfolgenden Weizens auf dem Streifenversuch Thalheim/Wels (OÖ)

Varianten	Zwischenfruchtgemenge OÖ (Saatstärke kg/ha)	Sommerzwischenfrüchte 2009		Winterweizen 2010	
		t TS/ha	TS %	t / ha	Feuchte %
0	Kontrolle ohne ZF			6,4	12,9%
1	Ölrettich/Phac./Alex.-klee (15)	3,2	14,4	7,5	12,9%
2	Ölrettich/Phac./Alex.-klee (15)	3,2	14,0	7,0	12,8%
3	Ölrettich/Phac./Alex.-klee (15)	2,6	13,9	7,6	13,2%
4	Raygras/Alex.-klee (35)	3,4	16,9	6,0	12,9%
5	Mungo/Phac./Alex.-klee (14)	3,2	14,2	6,7	11,6%
6	Ackerbohne/So-blume (110)	3,6	17,5	7,0*	13,6%
7	Hirse(Goliath)/Alex.-klee (17)	2,6	15,0	6,9**	13,3%

* mit Untersaat: Weißklee/Gelbklee/Winterwicke/Inkarnatklee/Dt. Weidelgras/Wiesenschwingel (35)

** mit Untersaat: Rotklee/Luzerne/Knaulgras/Wiesenlieschgras (16)

In **Thalheim** wurde der Auflauf der Zwischenfrüchte 2009 durch Verschlämmungen in Folge eines Starkregenereignisses unmittelbar nach dem Anbau der Zwischenfrüchte erschwert. Die Bestände erreichten dennoch Erträge über 3 t TS/ha. Beim nachfolgenden Weizen konnten sich keine statistisch absicherbaren Auswirkungen der vorhergehenden Zwischenfrüchte nachweisen lassen. Auch in Thalheim wurden Anfang April 2010 auf zwei Varianten Untersaatgemenge in den Winterweizenbestand ausgesät. Die Untersaaten entwickelten sich gut und erreichten bei der Ernte im August Wuchshöhen von 20 – 30 cm.

Der Weizen konnte bei feuchtem Boden erst am 10. August gedroschen werden. Die Gemenge aus Winter- und Sommerzwischenfrüchten, die in Thalheim 2 Tage nach der Weizenernte angebaut wurden, sind vollständig ausgefallen. Auch die relativ gut entwickelten Untersaaten sind nach der Weizenernte kaum weitergewachsen. Die Rotklee-Luzerne-Grasmischung erreichte immerhin noch einen TS-Ertrag von 2,1 t/ha bei einem TS-Gehalt von 28%. Die Nachsaat von Winterzwischenfrüchten war zwar vorgesehen, musste dann aber auch wegen der ungünstigen Witterung und mangelnder Befahrbarkeit entfallen.

Am **Standort Hasendorf/Leibnitz** wurden Winterzwischenfrüchte angebaut, die Anfang Mai 2010 beerntet wurden. Die Erträge der zuvor mit Biogasgülle gedüngten Varianten erreichten Erträge zwischen 4,3 und 5,3 t TS/ha. Der nachfolgend angebaute Mais blieb infolge des 2 Wochen späteren Anbaus bei den Zwischenfrüchten, die gedüngt wurden, ca. 10% hinter der Kontrolle zurück. Bei den ungedüngten Varianten waren die Ertragseinbußen deutlich höher. Der Ertrag der Variante 1 war offensichtlich wegen des höheren Nährstoffangebotes am höchsten, da die Zwischenfrucht gedüngt aber nicht beerntet wurde.

Tabelle 7 Erträge der Winterzwischenfrüchte 2009/2010 und des nachfolgenden Silomais auf dem Streifenversuch Hasendorf/Leibnitz (STMK)

Variante	Winterzwischenfruchtgemenge Stmk (Saatstärke kg/ha)	Maisanbau- termin	Winter-ZF 2009/ 2010		Silomais 2010	
			t TS/ ha	TS [%]	t TS/ ha	TS [%]
0	Kontrolle ohne ZF	20.4.2010			18,3	30,0
1	Grünroggen (100)				20,6	30,5
2	Grünroggen (100)	4.5.2010	4,6	14,1	17,1	26,4
3	Grünroggen (100)		4,9	14,1	15,9	29,0
4	Grünroggen ungedüngt (100)		3,8	14,4	13,0	29,3
5	W-Erbse (45) W-Roggen (48)		4,5	16,2	16,3	27,4
6	Raygras (36)		4,3	13,6	14,2	27,8
7	W-Rübsen (11)		5,3	16,6	17,1	27,0
8	W-Triticale ungedüngt (150)		4,9	15,0	12,8	27,0
8	W-Triticale ohne Wdhlg. (150)		3,4	15,0	17,1	28,1
9	W-Erbse (48) W-Triticale(75)		4,4	22,2	17,4	27,3

Tabelle 8 Erträge der Winterzwischenfrüchte 2010/2011 auf dem Streifenversuch Hasendorf/Leibnitz (STMK)

Variante	Winterzwischenfruchtgemenge 2010/2011 Stmk (Saatstärke kg/ha)	t TS/ ha	TS [%]
0	Kontrolle ohne ZF		
1	Grünroggen (120) als Gründünger auf dem Feld verblieben		
2	Grünroggen (120)	2,7	16,0
3	Grünroggen (120)	3,3	15,5
4	Grünroggen ungedüngt (120)	1,6	18,0
5	W-Erbse (50), Grünroggen (60)	2,7	16,0
6	Inkarnatklée (12), Grünroggen (60)	2,8	15,0
7	Inkarnatklée (12) Perko (6)	1,4	12,7
8	Rotklée (7) W-Wicke (20) Perko (4) W-Triticale (35)	1,3	17,3
9	W-Erbse (50), W-Triticale (75)	1,9	17,7

Die Winterzwischenfruchtgemenge 2010/2011 konnten witterungsbedingt erst Ende September angebaut werden. Trotz des trockenen und kühlen Frühjahrs und der relativ frühen Beerntung am 26. April erreichten die gut entwickelten Varianten Erträge von ca. 3 t TS. Beim nachfolgend angebauten Ölkürbis ergaben sich keine statistisch absicherbaren Unterschiede zwischen den Varianten.

Diskussion der Ergebnisse

Bei der Bewertung der Ergebnisse aus den Streifenversuchen erscheint es unter Berücksichtigung der Erprobung im anlagentechnischen Maßstab (AP4) durchaus realistisch, durchschnittliche TS-Erträge von 2,5 – 3 t/ha mit Sommerzwischenfrüchten erreichen zu können, auch wenn Totalausfälle mit eingerechnet werden. Bei Winterzwischenfrüchten ist zwar das Risiko von Ertragseinbußen für die Folgekultur höher. Bei rechtzeitiger Düngung der Zwischenfrüchte mit Biogasgülle im März und Beerntung Ende April, sind durchschnittliche Er-

träge von 4 t TS/ha erzielbar, ohne Ertragseinbußen bei den Hauptkulturen zur Folge zu haben, die über die üblichen Ertragsschwankungen deutlich hinaus gehen.

Mittel bis langfristig wäre es zur Ertragssicherung vorteilhaft, wenn in der Saatzucht an Zwischenfruchtsorten gearbeitet werden würde. Es wäre jedoch auch wünschenswert, wenn bei Hauptkulturen neben optimalen Erträgen auch verstärkt auf frühe Abreifetermine geachtet werden würde.

Die Ursachen für den Totalausfall des Gemenges aus Winter- und Sommerzwischenfrüchten konnte nicht abschließend geklärt werden. Hauptursache waren mit relativer Sicherheit Schnecken und Mäuse, denn die Zwischenfrüchte sind zwar aufgelaufen, übriggeblieben ist bei den meisten Pflanzen jedoch nur der Stengel ohne Keimblätter. Die schlechte Entwicklung der Untersaaten deutet jedoch darauf hin, dass auch die kühle und feuchte Witterung das Wachstum nicht begünstigt hat und das Getreide zu tief geschnitten wurde, sodass die dicke Strohaufgabe die Jungentwicklung der Zwischenfrüchte behindert hat.

Bei der Durchführung der Versuche wurde deutlich, dass in Ackerbauregionen häufig nicht die optimale Technik für Anbau und Ernte von Zwischenfrüchten verfügbar ist. In Oberösterreich ist inzwischen ein Gerät für Direktsaat verfügbar. Für die anderen Standorte müssen noch Lösungen gefunden werden. Noch ungünstiger ist die Situation bei der Beerntung. In den Regionen rund um Güssing, Thalheim und Hasendorf gibt es keine Landwirte mit modernem Kurzschnittladewagen. Es sind lediglich einzelne veraltete Geräte verfügbar. Auch der Einsatz von Silofräsen ist nicht üblich, sodass dieses alternative Ernteverfahren bisher im Rahmen des Projektes nicht erprobt werden konnte. Die Erfahrungen aus Bayern sprechen jedoch deutlich für dieses Ernteverfahren.

Empfehlungen für die Integration von Zwischenfrüchten in Fruchtfolgen mit Hauptkulturen für die Nahrungsmittelversorgung

- Der Anbau der Zwischenfrüchte sollte, wenn verfügbar, mit Direktsaattechnik erfolgen. Dies erleichtert vor allem bei Sommerzwischenfrüchten die Aussaat zum frühestmöglichen Zeitpunkt und der Boden ist im Falle ungünstiger Witterung im Herbst tragfähiger als nach Bodenbearbeitung.
- Bei Gräsern als Zwischenfrüchten ist Vorsicht geboten. Bei Sommerzwischenfrüchten mit nachfolgendem Wintergetreide sollte auf mehrjährige Gräser verzichtet werden.
- Untersaaten (z. B. Rotklee) in Getreide haben ein hohes Ertragspotenzial (auf Praxis-schlägen bis zu 6 t TS/ha) und können schon Anfang bis Mitte September beerntet werden.
- Zwischen Getreide und Mais/Kürbis/Soja Gemenge ist die zweimalige Nutzung von Gemengen aus Sommer und Winterzwischenfrüchten (z. B. Landsberger Gemenge) möglich und es können Anbaukosten gespart werden.
- Ein heikles Thema sind Ertragseinbußen bei Mais und Soja nach der Beerntung von Winterzwischenfrüchten. Landwirte sind diesbezüglich sehr sensibel und es besteht weiterer Forschungs- und Entwicklungsbedarf. Auf Basis bisheriger Ergebnisse und der Erfahrungen aus anderen Projekten ist ein möglichst früher Erntetermin Ende April empfehlens-

wert. Bei extrem trockenem Winter und Frühjahr sollte auf eine Beerntung verzichtet und die Zwischenfrucht gemulcht werden.

2.4.2 Ermittlung des Biogaspotenzials von Zwischenfrüchten und begleitende Analytik

Die Ergebnisse der Batchgärversuche mit 18 Pflanzenproben (9 Sommer- und 9 Winterzwischenfruchtgemenge) aus AP1 und AP4 sind in Tabelle 9 dargestellt.

Tabelle 9 durchschnittlicher Biogas- und Methanertrag aus 18 Batchgärversuchen

Ertrag bezogen auf	Sommerzwischenfrüchte	Winterzwischenfrüchte
organische Trockensubstanz		
Biogas [NI/kg oTS]	565	625
Methan [NI/kg oTS]	289	315
Trockenmasse		
Biogas [NI/kg TS]	514	573
Methan [NI/kg TS]	262	289
Hektar [CH₄ Nm³/ha] bei		
2,5 t TS/ha	656	722
3 t TS/ha	787	866
4 t TS/ha	1.050	1.155
5 t TS/ha	1.312	1.444

Die durchschnittlichen Methanausbeuten von Sommerzwischenfrüchten sind mit 260 NI/kg TS etwas geringer als die von Winterzwischenfrüchten mit 290 NI/kg TS. Der Verlauf der Vergärungen ist normal verlaufen und es wurde nach ca. 16 Tagen 90 % der Gesamtbioogasproduktion erreicht. Die durchschnittlichen Methangehalte liegen bei ca. 50 %. Diese Ergebnisse z. B. Grünroggen mit 336 und 410 NI CH₄/kg oTS liegen im Normalbereich. Die ausführliche Darstellung der Einzelergebnisse befindet sich im Anhang.

Analysen von Bodenproben auf N_{min}-, Wassergehalt sowie Gesamtstickstoff- und Humusgehalt zu Projektbeginn als Ausgangswert für die Humus- und Stickstoff-Bilanzierung werden in AP3 beschrieben.

2.4.3 Bewertung der Effekte für den Klima- und Wasserschutz

Nitratauswaschung

Die Messwerte zum Bodenwasserhaushalt ermöglichten im Verein mit den gemessenen Trockenmassebildungen, Stickstoffentzügen durch die Vegetation, N_{min}-Bestimmungen und mit den standörtlichen Wetter- und Managementbedingungen das Rechenmodell SIMWASSER/STOTRASIM (STENITZER 1988 und FEICHTINGER 1998) zu prüfen und anzupassen. Nach abgeschlossener Justierung erfolgte die finale Anwendung des Rechenmodells für die untersuchten Managementvarianten (mit/ohne Zwischenfrüchte, Verbleib bzw. Abfuhr der Zwischenfrüchte, Unterschiede zur Bodenbearbeitung und zum Zwischenfruchtgemenge) für sonst einheitliche Rahmenbedingungen folgendermaßen:

Für jeden der drei Standorte wurden die jeweiligen Bodenverhältnisse und Wetterdaten mit dem Management der vier Varianten des Kernversuchs verschnitten, wobei einheitliche Werte zu den Steuergrößen der Wuchseistung der Kulturen in die Modellbetrachtung eingingen. Die Ergebnisse zur Grundwasserneubildung (GWN), zur Stickstoffversickerung (Vers.-N) und der daraus resultierenden Nitratkonzentration im Sickerwasser (NO_3 -Konz.) sind im Anhang für den Zeitraum Mitte 2009 bis Frühjahr 2011 im Mittel dargelegt. Ergänzend ist dazu zu vermerken, dass sich aus der Parametrisierung der Bodeneigenschaften und in Abstimmung mit der gemessenen Dynamik zum Bodenwasserhaushalt für manche Bodenhorizonte geringe hydraulische Wasserleitfähigkeiten (Stauhorizonte) ergaben, was speziell bei Starkniederschlägen dazu führt, dass der Tagesniederschlag nicht versickern kann und in SIMWASER/STOTRASIM als Oberflächenabfluss (OA) ausgewiesen wird. Dies tritt in Güssing am stärksten in Erscheinung, wobei die geringe hydraulische Wasserleitfähigkeit der dortigen Böden bereits in Klaghofer, 1982 nachdrücklich festgestellt wurde. Solch ausgewiesener Oberflächenabfluss muss nicht zwangsläufig einen durchgängigen Abfluss in ein Gerinne bedeuten, sondern kann auch in regionalen Senken allmählich versickern oder verdunsten. Jedenfalls signalisieren die gemessenen Wassergehalte, dass bestimmte Starkniederschläge nicht an den Messstellen versickerten. Diese Messungen und Berechnungen ergaben, dass

- durch den Anbau von Zwischenfrüchten die Grundwasserneubildung – bei deren Dominanz gegenüber dem Oberflächenabfluss (Hasendorf, Thalheim) – zwischen 0 und 5 % reduziert wird.
- durch den Anbau von Zwischenfrüchten die versickernde Stickstofffracht um 20 – 25 % reduziert werden kann.
- durch den Anbau von Zwischenfrüchten die Nitratkonzentration des Sickerwassers um 10 – 15 % reduziert werden kann.
- diese Reduktionen stark an die Wuchseistung und somit Trockenmassebildung der Zwischenfrüchte gebunden sind.
- eine Abfuhr von Zwischenfrüchten und somit ein Export von Stickstoff von der Fläche gegenüber einem Management ohne Zwischenfruchtanbau (Variante 0) bei sonst identen Rahmenbedingungen eine Reduktion der Stickstoffversickerung erwirkt.
- hingegen Zwischenfrüchte mit merkbareren Leguminosenanteil bei Verbleib am Feld (Variante 1 in Thalheim) gegenüber einem Management ohne Zwischenfrüchte bezüglich Stickstoffversickerung kontraproduktiv sind und durch den zusätzlichen Input an Luftstickstoff eine leichte Erhöhung der versickernden Stickstofffracht erwirken.

Lachgasemissionen

Seit der Industrialisierung ist die Konzentration klimarelevanter Spurengase wie Lachgas (N_2O) in der Atmosphäre stark angestiegen. Rund zwei Drittel der anthropogenen Lachgasemissionen stammen aus der Landwirtschaft. N_2O hat verglichen mit CO_2 ein um etwa 300-fach höheres Treibhauspotenzial und ist mit einer Lebensdauer in der Atmosphäre von 114 Jahren ein sehr langlebiges Treibhausgas (IPCC, 2001).

N_2O - Emissionen von landwirtschaftlichen Böden resultieren hauptsächlich aus Nitrifikations- und Denitrifikationsprozessen (BEAUCHAMP, 1997). Die Lachgasproduktion ist Teil in diesen Prozessen und ist, wie in diversen Studien beschrieben wird, abhängig von verschie-

denen mikrobiologischen Vorgängen und einer Vielzahl von physikalischen und chemischen Faktoren.

Die Bodeneigenschaften wie der Bodenwassergehalt und die Temperaturen beeinflussen die mikrobiologische Aktivität im Boden und dadurch Nitrifikations- und Denitrifikationsprozesse wie auch die Lachgasproduktion. Zusätzlich sind die unterschiedlichen Bearbeitungsmethoden landwirtschaftlicher Flächen von großer Bedeutung. Düngung und Mulchen oder Einarbeitung von Pflanzenrückständen beeinflussen das Nährstoffangebot der Bodenfauna. Der Bodenwassergehalt beeinflusst die N_2O und NO_x Emissionen, da er gemeinsam mit der Sauerstoffverfügbarkeit die mikrobiologische Aktivität steuert. Mehrere Versuche verschiedener Autoren (FLESSA et al. 1995; AULAKH et al. 1991; McKENNY et al. 1993; LARRSON et al. 1998) zeigen, dass es durch die Erhöhung des Bodenwassergehalts zu einem deutlichen Anstieg der Lachgasemissionen kommen kann, da ein hoher Wassergehalt den Sauerstofftransport bremst und dadurch die Denitrifikationsrate im Boden erhöht.

Eine Korrelationsrechnung für Lachgasemissionen und Wasseranteile ergab einen Koeffizienten von 0,732 nach Pearson und war damit signifikant. Die Aussage, dass mit steigendem Bodenwassergehalt die Lachgasemissionen ansteigen, lässt sich somit verallgemeinern.

Temperaturveränderungen beeinflussen ebenfalls die mikrobiologische Aktivität im Boden und dadurch auch die Denitrifikation und Nitrifikation. Denitrifikations- und Nitrifikationsraten werden durch steigende Temperaturen erhöht. (ADDISCOTT, 1983; IFA & FAO, 2001).

Die Einarbeitung von Ernterückständen oder Zwischenfrüchten spielt in landwirtschaftlichen Systemen eine bedeutende Rolle und ist stets mit einer Kohlenstoff- oder Stickstoffzufuhr verbunden und damit mit einem erhöhten Potenzial zur N_2O -Bildung und N_2O -Emission. Die meisten ausgewerteten Studien zeigen, dass durch die Einarbeitung von Pflanzenrückständen die Lachgasemissionen im Vergleich zu Flächen ohne Einarbeitung der Aufwüchse in Abhängigkeit der Rahmenbedingungen teilweise deutlich ansteigen. Diesen Zusammenhang beschreiben verschiedene Forschungsberichte. Auch der umgekehrt proportionale Zusammenhang zwischen dem C/N-Verhältnis der Pflanzenrückstände und der Höhe der Lachgasemissionen wird in diversen Forschungsberichten beschrieben. (McKENNY et al., 1993; LARSSON et al., 1997; VELTHOF et al., 2002; BAGGS et al., 2003; HUANG et al., 2004))

Es wurden zwei Modelle erstellt, die es erlauben die Lachgasemissionen der drei Versuchstandorte quantitativ zu schätzen und den Einfluss der Abfuhr bzw. der Einarbeitung der Zwischenfrüchte zu bewerten. Ein Modell beschreibt die Hintergrundemission von landwirtschaftlich genutzten Flächen. Das zweite Modell berücksichtigt zusätzlich die unterschiedlichen Bearbeitungsmethoden, wie den Verbleib der Zwischenfrüchte auf den landwirtschaftlichen Flächen.

Zur Berechnung der N_2O -Hintergrundemissionen wurden die Faktoren Bodenwasseranteil, Sand- und Tongehalt berücksichtigt. Zur Abschätzung des Einflusses der unterschiedlichen Bearbeitungsmethoden wurden zusätzlich die Faktoren Stickstoffinput durch Düngung und Pflanzenrückstände einbezogen.

Die beiden erstellten Modelle wurden im Weiteren verwendet, um die Lachgasemissionen unter den Versuchsbedingungen abzuschätzen und insbesondere zu zeigen, wie der Anbau von Zwischenfrüchten und deren Nutzung bzw. Einarbeitung die Lachgasemissionen beeinflusst.

In Abb. 2-1 sind die berechneten Lachgasemissionen der drei Versuchsstandorte dargestellt. Verglichen wurden Flächen ohne Zwischenfruchtanbau (blauer Balken), Flächen mit Zwischenfruchtanbau bei Verbleib der Zwischenfruchtaufwüchse auf dem Feld (grüner Balken) und Flächen mit Zwischenfruchtanbau bei Abfuhr der Zwischenfruchtaufwüchse (roter Balken).

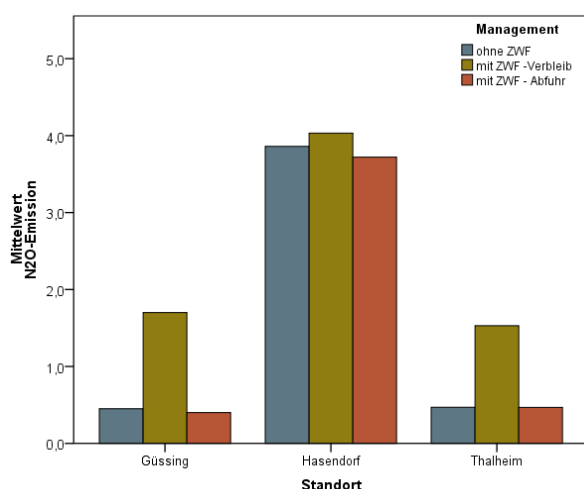


Abb. 2-1: Lachgasemissionen der drei Versuchsstandorte

Die Abschätzung der Lachgasemissionen am Standort Güssing zeigt, dass sich diese durch den Anbau und die Beerntung von Zwischenfrüchten im Vergleich zur Schwarzbrache nicht wesentlich verändern. Werden die Zwischenfruchtaufwüchse allerdings auf den Ackerflächen eingearbeitet bzw. gemulcht, wird im Durchschnitt um 1,2 kg/(ha.a) mehr Lachgas emittiert. Am Standort Thalheim zeigen die Berechnungen ähnliche Ergebnisse. Durch die Einarbeitung von Zwischenfruchtaufwüchsen kommt es zu einer Erhöhung der Lachgasemissionen um rund 1 kg N/(ha.a).

In Hasendorf wurden aufgrund der höheren Bodenwasseranteile deutlich höhere N₂O-Emissionen als auf den beiden anderen Versuchsstandorten berechnet. Im Mittel wurden 3,9 kg/(ha.a) Lachgas von den Versuchsflächen emittiert. Durch den Anbau von Zwischenfrüchten bzw. durch die unterschiedlichen Bearbeitungsmethoden (Verbleib/Abfuhr der Zwischenfruchtaufwüchse) konnten keine wesentlichen Unterschiede in der Höhe der Lachgasemissionen festgestellt werden.

Die Ergebnisse zeigen:

- Auf den drei Versuchsstandorten konnte kein Unterschied zwischen Flächen, auf denen Zwischenfrüchte beerntet werden oder Schwarzbrache hinsichtlich der Höhe der Lachgasemissionen während der Vegetationsperiode festgestellt werden.
- Werden Zwischenfruchtaufwüchse in den Boden eingearbeitet oder gemulcht, kommt es zu einer Erhöhung der Lachgasemissionen

- Die Höhe der Lachgasemissionen hängt stark vom Bodenwassergehalt und dessen zeitlichen Schwankungen ab und von weiteren Faktoren wie dem Tongehalt, Schluffgehalt, Sandgehalt und den chemischen Eigenschaften der Zwischenfrüchte.
- Das Verbleiben der Zwischenfrüchte auf den Feldern führt im Mittel zu einem Anstieg der N₂O-Emissionen um 1 kg/(ha.a).

Bedeutung einer Steigerung von rund 1 kg N₂O-N pro Hektar und Jahr auf das Klima wird vor allem durch die Betrachtung des „Global Warming Potential“ des Lachgases ersichtlich; 1 kg emittiertes Lachgas, entsprechen 296 kg CO₂. Auf diese Weise kann gezeigt werden, dass die Abfuhr zur energetischen Nutzung der Zwischenfruchtaufwüchse rund 296 kg CO₂-Äquivalente einspart und sich somit positiv auf das Klima auswirken kann, wohingegen dies beim Verbleiben der Pflanzenreste auf dem Feld nicht passiert.

2.4.4 Bewertung der technischen Verwertbarkeit von Zwischenfrüchten und Anpassung der Ernte-, Konservierungs- und Fermentertechnik im anlagentechnischen Maßstab

In Tabelle 10 sind die Durchschnittswerte aus der Nutzung von Zwischenfrüchten im anlagentechnischen Maßstab dargestellt. Im Anhang befinden sich Tabellen, in denen die Ergebnisse auf einzelnen Schlägen beschrieben werden.

Tabelle 10 Ergebnisse und Gewinnermittlung der Nutzung von Zwischenfrüchten für die Biogaserzeugung im anlagentechnischen Maßstab (nicht beerntete Schläge mit Flächenanteil von 26% mit berücksichtigt)

Summen / Mittelwerte	Fläche ha	Ertrag t TS/ha	% TS	Ausgaben €/ha				Einnahmen		Nfix- Legumi- noson €/ha	Gewinn €/ha	
				Saatgut	Anbau	Ernte, Transport	Summe	€/t TS	€/ha		inkl. Öpul	ohne Öpul
Sommerzwischenfrüchte 2009	34,0	2,8	24	71	85	122	249	66	184	29	55	-78
Sommerzwischenfrüchte 2010	51,4	3,6	22	62	63	125	235	69	226	96	71	-59
Sommerzwischenfrüchte gesamt	85,4	3,2	23	67	74	123	242	68	205	62	63	-68
Winterzwischenfrüchte 2009/2010	18,7	5,4	24	68	123	144	335	63	343	27	158	28
Winterzwischenfrüchte 2010/2011	4,0	5,3	22	47	72	155	274	68	360	28	244	114
Winterzwischenfrüchte gesamt	22,7	5,4	23	57	98	150	305	66	352	28	201	71
Sommer-Winterzwischenfrucht- gemenge 2010/2011	11,8	7,1	24	111	95	287	452	132	498	52	213	83
Gesamt	119,9	4,8	23	72	88	167	309	80	322	46	148	18

Insgesamt wurden im Sommer 2009 und 2010 im Burgenland und Oberösterreich 85 ha an Sommer- und knapp 23 ha an Winterzwischenfrüchten angebaut und beerntet (siehe Tabelle 10). Hinzu kommen noch knapp 12 ha an Mischungen aus Sommer- und Winterzwischenfrüchten mit mehrmaliger Nutzung. Die Aufstellung zeigt, dass die Nutzung von Zwischenfrüchten derzeit in der Regel auch mit betriebsüblicher Technik bei Teilnahme an ÖPUL rentabel ist. Dies gilt auch unter Berücksichtigung des Ausfalls von 3,2 ha im Jahr 2009 und von 28,3 ha, die im Jahr 2010 wegen der ungünstigen Witterungsbedingungen, nicht beerntet werden konnten. Ohne ÖPUL ergibt sich jedoch unter Berücksichtigung von Ertragsausfällen ein Verlust von knapp 70 €/ha bei Sommerzwischenfrüchten.

Mit Winterzwischenfrüchten wurde zwar unmittelbar ein besseres Ergebnis erzielt. Winterzwischenfrüchte sind in der Praxis jedoch wesentlich schwieriger zu etablieren als Sommerzwischenfrüchte. Grünschnitttroggen und Landsberger Gemenge werden bisher in der Regel nur dann angebaut, wenn als Folgekultur Hirse oder andere Sonderkulturen geplant sind. Bei Mais, Soja, Zuckerrüben, Kartoffeln und Kürbis haben Landwirte ohne einschlägige Erfahrungen große Bedenken, dass es zu Ertragseinbußen kommen könnte, die potenzielle Einnahmen durch die Zwischenfrucht weit übersteigen könnten. Ein Landwirt berichtete von Ertragseinbußen von knapp 5 t TS bei Mais, der ca. 3 Wochen später angebaut wurde, als auf den übrigen Schlägen. Eigene Ergebnisse in der Steiermark und auch Versuche in Deutschland ergaben deutlich geringere Ertragseinbußen, die deutlich niedriger waren als die Zwischenfruchterträge. Insgesamt ist es jedoch schwierig Landwirte zu finden, die sich bei den aktuellen Preisniveaus auf das Risiko von Ertragseinbußen einlassen.

Zu diesen Ergebnissen ist anzumerken, dass sie keinen Anspruch auf Repräsentativität haben. Sie können also nur einen ersten Eindruck vermitteln, welche Gewinne mit betriebsüblicher Technik unter Berücksichtigung möglicher Totalausfälle erzielbar sein könnten. Einzelne Schläge, auf denen auch mit Sommerzwischenfrüchten oder Rotkleeuntersaaten TS-Erträge von 5 t erzielt werden konnten, verdeutlichen jedoch das Potenzial, dass durch eine Optimierung von Anbau und Beerntung möglich ist. Durch Kosteneinsparungen beim Anbau (Priorität Direktsaat), der Beerntung (Priorität Ladewagen) und unter Umständen auch Saatgutvermehrung am eigenen Betrieb kann die Rentabilität noch deutlich verbessert werden.

Zwischenfrüchte sind nach der Beerntung mit Häcksler grundsätzlich in allen gängigen Anlagen nutzbar. Die Eigenschaften der Zwischenfruchtssubstrate variieren entsprechend der Zusammensetzung der Gemenge und dem Erntezeitpunkt. Deshalb sind bei bestehenden Anlagen je nach vorhandener Ausstattung Adaptierungen der Ernte- und Anlagentechnik sinnvoll bzw. notwendig, wenn größere Mengen an Zwischenfrüchten genutzt werden.

2.4.5 Konzeption von Anlagensystemen für die kombinierte Verwertung von Zwischenfrüchten mit Gülle, Grünschnitt, Stroh etc.

Mit der Prozessnetzwerksynthese (PNS) wurden die optimalen Größen und Standorte der Fermenter und BHKWs bzw. der optimale Zentralisierungsgrad bei einer vorgegebenen räumlichen Verteilung und Verfügbarkeit von Substraten ermittelt. Zusätzlich wurde die Biogasverwertung auf den Einsatz in KWK-Anlagen beschränkt und eine möglichst weitgehende Wärmenutzung sichergestellt. Auf diese Weise wurde die Substitution von Nahwärmeleitungen durch Biogasleitungen und die Biogasverstromung in einem dem Wärmeabnehmer nahe liegenden Gasmotor geprüft. Dadurch wird einerseits eine verbesserte Energie- und Klimabilanz und andererseits eine höhere Wirtschaftlichkeit der Anlagen angestrebt. Die Eingangsdaten für die Optimierung sind im Anhang ausführlich dargestellt.

Aus den vielen Rechenläufen, die für die Modellierung durchgeführt wurden, werden nachfolgend und im Anhang vier Systemstrukturen ausführlich dargestellt und diskutiert. Ergänzend wird auch ein Vergleichssystem beschrieben, dass der aktuellen Praxis in der Biogas-erzeugung nahe kommt.

Ausgangsstruktur ohne Einschränkungen:

Das Ergebnis, das ohne zusätzliche Vorgaben für die Optimierung zustande kommt, besteht aus zwei unabhängigen Fermentersystemen mit unterschiedlicher Substratbeschickung am Standort 1. Ihre Kapazität ist für die Erzeugung von je 250 kW_{el.} ausreichend. Sie werden fast ausschließlich mit einem 80 kW_{el.} BHKW am Standort beheizt. Mit einer Biogasleitung wird zusätzlich der Betrieb von einem 160 und einem 250 kW_{el.} BHKW am zentralen Standort ermöglicht und dadurch eine vollständige Abwärmenutzung sichergestellt. Einer der beiden Fermenter wird wegen starr vorgegebener Substratzusammensetzung mit einer Auslastung von 96 % betrieben, der Zweite mit 100%.

Optimalstruktur, nur ein Fermenter je Standort zulässig:

Im Unterschied zur Ausgangsstruktur wird ein Fermentersystem auf den Standort 3 verlagert und die Beheizung jeweils mittels Hackgutfeuerungsanlage sichergestellt. Das gesamte Biogas wird im zentralen Standort in zwei BHKWs mit einer Leistung von je 250 kW_{el.} verstromt.

Biogas ohne Mais: Substitution von Mais durch Zwischenfrüchte:

Im Unterschied zur Optimalstruktur wird statt Mais eine äquivalente Menge an Zwischenfrüchten bereitgestellt. Deshalb wird am Standort 1 ein Fermentersystem mit veränderter Substratzusammensetzung gewählt und bei beiden Fermentern wegen der günstigeren Verfügbarkeit volle Auslastung erreicht.

BHKW-Struktur – nur ein BHKW je Standort zulässig:

Die beiden BHKWs der Optimalstruktur werden durch ein BHKW mit 500 kW_{el.} ersetzt. Da das BHKW aus zwei unabhängigen Fermentersystemen am Standort 1 und 3 mit Biogas versorgt wird, wurde die Struktur sowohl mit 18,5 als auch 20,5 Cent/kWh gerechnet.

Vergleichsstruktur:

Zum Vergleich wurde eine kompakte Anlage mit Fermenter, Nachfermenter und BHKW mit 500 kW_{el.} am Standort 1 sowie Nahwärmeleitung zum zentralen Standort gerechnet. Die Fermenter werden mit 70 % Mais und 30% Gülle beschickt.

Zur Vervollständigung wurde auch eine Untervariante gerechnet, bei der nur ein Teil der BHKW-Abwärme für die Fermenterbeheizung genutzt wird.

Da die Substratkosten in jüngerer Vergangenheit tendenziell angestiegen sind, werden nachfolgend die Kosten bei maximalen Preisen je Tonne Trockensubstanz erörtert (Zwischenfrüchte und Grünschnitt 80 €; Gülle 10 €; Mais 110 €).

Nachfolgend sind die wichtigsten Kennzahlen der Strukturen in einer Übersichtstabelle zusammengefasst.

Tabelle 11 Zusammenstellung der Kosten und Betriebsergebnisse der berechneten Anlagenstrukturen

	Ausgangsstruktur	Optimalstruktur	Biogas ohne Mais	BHKW-Struktur		Vergleichsstruktur mit und ohne Wärmenutzung	
				(18,5 ct/kWh)	(20,5 ct/kWh)		
Fermenter [€]	1.926.479	1.926.479	1.926.479	1.926.479	1.926.479	1.221.043	1.221.043
BHKW [€]	560.000	500.000	500.000	430.000	430.000	430.000	430.000
Biogas/Nahwärmeleitung [€]	44.310	133040	133040	133040	133040	330.000	0
Sonstige (Siloplatte, Trafo) [€]	185.000	335000	335000	335000	335000	185000	185000
Summe Investitionskosten [€]	2.715.789	2.894.519	2.894.519	2.824.519	2.824.519	2.166.043	1.836.043
AfA auf 15 Jahre (ohne Zinsen) [€]	181.053	192.968	192.968	188.301	188.301	144.403	122.403
Leistung [kW/MW]	490 + 635 = 1,13 MW	500 + 600 = 1,1 MW	500 + 600 = 1,1 MW	500 + 560 = 1,06 MW	500 + 560 = 1,06 MW	500+560=1,06 MW	500 kW
Auslastung	98%	98%	100%	98%	98%	98%	98%
Stromerlös (€ 205 * 3.822 MWh) [€]	783.510	784.281	799.500	707.766	784.281	707.070	630.630
Wärmeerlös (€ 22,5 * 4.134 MWh) [€]	93.015	103.296	105.300	103.296	103.296	82.530	0
Summe Erlöse [€]	876.525	887.576	904.800	811.062	887.577	789.600	630.630
Betriebskosten Fermenter [€]	61.751	102.723	104.390	102.723	102.723	46.706	46.706
Betriebskosten BHKW inkl. Stromkosten [€]	132.446	109.988	110.656	85.778	85.778	88.447	85.696
Transportkosten, Rohstoffmanagement [€]	73.977	71.986	75.821	71.986	71.986	40.359	40.359
maximale Substratkosten [€]	213.209	213.561	213.400	213.561	213.561	301.260	301.260
Summe Betriebskosten [€]	481.383	498.258	504.267	474.048	474.048	476.772	474.021
Betriebsergebnis vor AfA [€]	395.142	389.319	400.534	337.015	413.529	312.828	156.609
Betriebsergebnis nach AfA (ohne Zinsen) [€]	214.089	196.351	207.566	148.714	225.228	168.425	34.206
durchschnittliche Substratkosten [€]	171.284	171.525	172.570	171.525	171.525	239.495	239.495
Summe Betriebskosten [€]	439.416	456.222	463.437	432.012	432.012	415.007	412.256
Betriebsergebnis vor AfA [€]	437.133	431.355	441.364	379.051	455.566	374.593	280.139
Betriebsergebnis nach AfA (ohne Zinsen) [€]	256.080	238.387	248.396	190.750	267.265	230.190	95.971
niedrige Substratkosten [€]	129.358	129.488	131.740	129.488	129.488	177.730	177.730
Summe Betriebskosten [€]	397.403	414.185	422.607	389.975	389.975	353.242	350.491
Betriebsergebnis vor AfA [€]	479.123	473.392	482.194	421.088	497.602	436.358	218.374
Betriebsergebnis nach AfA (ohne Zinsen) [€]	298.070	280.424	289.226	232.787	309.301	291.955	157.736

Das beste Betriebsergebnis (225.228 €) wird erzielt, wenn mit zwei unabhängigen Fermentersystemen am Standort 1 und 3 nur ein BHKW 500 kW_{el.} am zentralen Standort mit höherer Vergütung für Anlagen unter 250 kW_{el.} betrieben werden darf. Wenn nur der niedrigere Tarif für größere Anlagen erstattet wird, fällt das Ergebnis mit 148.714 € an die letzte Stelle zurück. Denn der Betrieb einer Biogasanlage ohne BHKW-Abwärmenutzung wurde nur der Vollständigkeit halber berechnet. Zur Vermeidung des Risikos, in den niedrigeren Tarif zu fallen, werden in der Optimalstruktur am zentralen Standort zwei BHKWs betrieben und auf diese Weise ein Ergebnis von 196.351 € erzielt. Das Ergebnis des Fermenterbetriebs ohne Mais (207.566€) liegt noch knapp darüber, weil eine höhere Auslastung erzielt wird. Das Be-

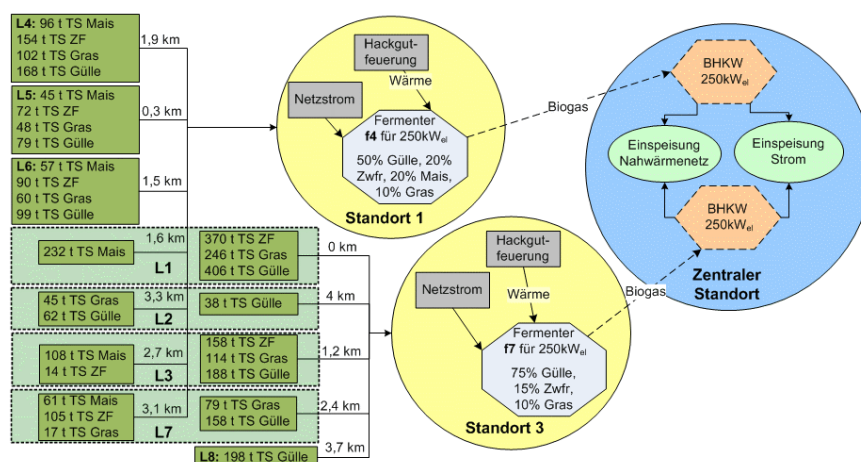
triebsergebnis der Vergleichsstruktur wird in erster Linie vom Maispreis bestimmt. Bei maximalen Preisen von 110 €/t TS und einem Anteil von 70 % in der Substratmischung bleibt es mit 168.425 € hinter der Optimalstruktur zurück. Bei niedrigem Maispreis übertrifft es diese jedoch geringfügig.

Ausgangsstruktur:

Dieses ausschließlich nach ökonomischen Gesichtspunkten ermittelte Technologiennetzwerk mit zwei unabhängigen Fermentersystemen mit unterschiedlicher Substratbeschickung am gleichen Standort ist auf den ersten Blick wenig praxisrelevant. Dieses Ergebnis kommt durch ein Zusammenwirken mehrerer Faktoren zustande. Starre Vorgaben für die Substratzusammensetzung sowie Fermenterleistung in Verbindung mit der eingeschränkten Verfügbarkeit der Biomasse bedingen die Errichtung von zwei unabhängigen Fermentersystemen, damit das Rohstoffangebot weitgehend ausgeschöpft werden kann. Mit einer Substratzusammensetzung von 65% Gülle, 17% Zwischenfrüchten, 10% Grünschnitt und 8% Mais wäre nur ein Fermenter mit einer Gasproduktion für ein 500kW_{el} BHKW gewählt worden. Eine volle Ausschöpfung der verfügbaren Substrate hätte bei einer Frischmassezusammensetzung von 60% Gülle, 20% Zwischenfrüchten, 11% Grünschnitt und 9% Mais zu einer Leistung von ca. 600 kW_{el} geführt. Dann hätte am Fermenterstandort ein BHKW mit 100 kW_{el} betrieben werden können, um den gesamten Wärmebedarf damit decken zu können. Die Gasmenge würde dann immer noch für zwei BHKWs mit 250 kW_{el} am zentralen Standort ausreichen. Die Bevorzugung von zwei BHKWs statt einem wird durch den Einspeisetarif von 205 €/MWh für Anlagen ≤ 250 kW_{el} Leistung statt der 185 €/MWh für ein BHKW mit 500 kW_{el} bedingt. Diese Struktur wäre aus praktischer und ökologischer Sicht sinnvoll, wenn getrennte Rohstoffketten durch unterschiedliche Substrate bedingt werden und eines der Fermentersysteme Priorität ausschließlich mit Substrat aus biologischer Landwirtschaft beschickt wird. Wäre diese Anlagenstruktur ausschließlich damit begründet, dass der erzeugte Strom mit dem höheren Tarif für Anlagen ≤ 250 kW_{el} eingespeist werden kann, müsste die Sinnhaftigkeit zumindest aus ökologischer Sicht in Frage gestellt werden.

Optimalstruktur:

Abbildung 2: Optimalstruktur mit Fermentersystemen am Standort 1 und 3 und 2 BHKWs



Die geringen Entfernungen zwischen Lieferanten und Standorten haben offensichtlich dazu beigetragen, dass im ersten PNS-Rechenlauf beide Fermentersysteme gleicher Größe und gleichen Typs am Standort 1 vorgesehen waren. Denn wenn das Fermentersystem 7 statt am Standort 1 am Standort 3 betrieben wird, verringern sich die jährlichen Transportkosten lediglich um 7.800 € auf 60.286 €. Gleichzeitig steigen die Kosten für den Fermenterbetrieb, weil diese nicht mehr mit einem BHKW, sondern mit Hackgutfeuerungsanlagen beheizt werden. Zusätzlich erhöhen sich die Kosten für den Gastransport und für die Siloplatte. Die geringfügige Verringerung der Transportkosten bei einer Verlagerung des Fermenterstandortes zur Verkürzung der Transportwege erklärt sich dadurch, dass bei sämtlichen Substraten die variablen Transportkostenanteile die Fixkosten erst bei Entfernungen von mehr als 4 km übersteigen. Deshalb verdoppeln sich die Transportkosten für Gülle erst, wenn sie statt einen sechs Kilometer transportiert wird. Bei dieser Anlagenstruktur wäre es wegen des verminderten Transportaufkommens aus ökologischer Sicht gerechtfertigt, den eingespeisten Strom mit dem höheren Preis für $\leq 250\text{kW}_{\text{el}}$ zu vergüten.

Wenn das BHKW vom Fermentersystem räumlich getrennt wird, steht für dessen Beheizung keine Abwärme zur Verfügung. Deshalb wurde die Reduktion des Wärmebedarfes mit Hilfe verbesserter Isolation und Substratvorwärmung diskutiert. Denn im Winter erhöht frisches, kühles Substrat den Wärmebedarf. Die Vorwärmung von Silagen mittels Wärmetauscher ist im Vergleich zur Beheizung der Fermenter mit Hackgutfeuerungsanlagen beim aktuellen Stand der Technik nicht wirtschaftlich. Für die Erwärmung eingebrachter Gülle mit dem entnommenen Gärrest wurde jedoch eine Lösung gefunden, die weiter untersucht wird.

Biogas ohne Mais:

Die höhere Auslastung der Anlage am Standort 3 bedingt größere Einnahmen. Hinzu kommt, dass die ggf. höheren Kosten, die in Folge des niedrigeren Energiegehaltes entstehen auch durch die niedrigeren Substratkosten pro m^3 Methan zum Teil aufgefangen werden. In Summe ergibt sich bei gleichen Investitionskosten für die Anlage ein geringfügig besseres Betriebsergebnis. Bei einem Preis von 80 € / t TS für Zwischenfrüchte und 110 € / t TS für Mais dürfte somit in etwa eine Relation erreicht sein, bei dem die Biogaserzeugung aus Zwischenfrüchten zu einer überlegenswerten Alternative wird. Der stark ansteigende Flächenbedarf macht jedoch auch deutlich, dass Biogasanlagenbetreiber gefordert sind, mit vielen Landwirten rund um die Biogasanlage zusammenzuarbeiten. Der Kommunikationsaufwand dürfte insbesondere in der Anfangsphase enorm sein. Um deutliche Anreize für die Nutzung von Zwischenfrüchten zu schaffen, wäre deshalb die zusätzliche Einführung eines Bonus für die Biogaserzeugung aus Zwischenfrüchten, ähnlich dem Bonus für die Abwärmenutzung, erforderlich. Ein derartiger Bonus hätte nicht nur eine ökonomische Funktion, sondern würde auch dazu beitragen, dass bei bestehenden Anlagen Investitionen getätigt werden, die den verstärkten Einsatz von Zwischenfrüchten ermöglichen.

BHKW-Struktur – nur ein BHKW je Standort zulässig:

Wenn der Einspeisetarif auf Basis der BHKW Leistung ermittelt wird, sinken die Investitions- und Betriebskosten für das BHKW (28.900 € davon 4.600 € AfA) nicht in ausreichendem Maße, um die Mindereinnahmen bei der Stromeinspeisung zu kompensieren. Würde die Einspeisevergütung auf Basis der Fermenterleistung festgelegt werden, würde das Betriebsergebnis mit 225.230 € jenes der Optimalstruktur um fast 29.000 € übertreffen. Die Einspeisevergütung anhand der Fermenterleistung festzusetzen, wäre hinsichtlich des Transportaufwandes aus ökologischer Sicht sinnvoll und bezüglich der höheren Investitions- und Betriebskosten für zwei unabhängige Fermentersysteme auch eher gerechtfertigt, als die Festsetzung auf Basis der BHKW Leistung.

Vergleichsstruktur:

Die Investitionskosten für das Referenzszenario sind zwar deutlich niedriger als bei den anderen Szenarien. Gleichzeitig schlagen die höheren Substratkosten (300.000 €) wegen des hohen Maisanteils zu Buche. Da jedoch auch die Fermenterbetriebskosten um 39.000 € und die Transportkosten um 25.700 € niedriger sind als im Szenario mit einem BHKW bei niedrigerer Vergütung, ist das Betriebsergebnis besser, reicht jedoch nicht an das Ergebnis der Optimalstruktur heran. Wenn also der Schritt zu einem größeren BHKW gewählt wird, lohnt es sich nicht, zwei unabhängige Fermentersysteme zu errichten, solange sich die Höhe der Einspeisevergütung am BHKW orientiert.

Eine möglichst vollständige Abwärmenutzung ist nicht nur aus ökologischer Sicht sondern auch aus ökonomischer Sicht unbedingt erstrebenswert. Das geringe Betriebsergebnis spiegelt auch die schwierige wirtschaftliche Situation einiger bestehender Biogasanlagen, die keine oder nur eine unzureichende Abwärmenutzung realisieren konnten, wider.

Abschließende Betrachtung

Um den Datenverwaltungsaufwand und die Rechenzeit beherrschbar zu halten, mussten für die Optimierung mit der PNS Einschränkungen hinsichtlich der Anzahl möglicher Systemstrukturen vorgegeben werden. Die Festlegung von acht verschiedenen Substratzusammensetzungen sowie vier Leistungsstufen bei den Fermentersystem und BHKWs in Verbindung mit der eingeschränkten Verfügbarkeit der Biomasse bedingen jedoch ein nur eingeschränkt praxisrelevantes Optimum, wenn nicht zusätzlich die Errichtung von zwei unabhängigen Fermentersystemen an einem Standort, ausgeschlossen wird. Angesichts der relativ geringen Unterschiede der Betriebsergebnisse der präferierten Varianten kann es deshalb bei konkreten Planungen und Abweichungen der regionalen Voraussetzungen zu optimalen Lösungen kommen, die sich von den vorgestellten deutlich unterscheiden.

Die Berechnungen verdeutlichen die große Bedeutung der Rohstoffpreise für die Rentabilität des Anlagenbetriebs. Ihr Anteil an den Betriebskosten beträgt je nach Preisniveau durchschnittlich 45 % und erreicht bei Anlagenkonzepten mit einem Fermenter sogar mehr als 60 %. Eine Berücksichtigung von Preisschwankungen bei der Einspeisevergütung würde deshalb den Betrieb deutlich erleichtern. Eine Erleichterung könnten diesbezüglich auch Zwi-

schenfrüchte darstellen, weil sie nicht in Konkurrenz zu Hauptkulturen stehen und deshalb bezüglich des Preises nicht abhängig sind.

Hohe Fixkosten für Be- und Entladung beim Transport der Substrate begünstigen in Verbindung mit entsprechenden Kosteneinsparungen bei Investitionen und Betrieb, die Errichtung von größeren Fermentern, wenn die Entfernungen zwischen den Fermentern weniger als fünf Kilometer betragen.

Die Ergebnisse legen es nahe die Einspeisevergütung hinsichtlich des Anlagenbegriffs zu überdenken. Die Festsetzung des Tarifs anhand der Fermenter- statt der BHKW-Leistung, wenn beide mehr als einen Kilometer voneinander getrennt betrieben werden, wäre aus ökologischer (Verringerung des Transportaufwandes, Erleichterung einer besseren Abwärmeebenutzung) und ökonomischer Sicht (Aufwand für Fermenterbetrieb höher als für BHKW-Betrieb) sinnvoll. Eine Änderung der Bedingungen sollte darüber hinaus auch die Bündelung von Biogas für die Aufbereitung mit anschließender Treibstoffnutzung oder Einspeisung ins öffentliche Gasnetz erleichtern, wenn in der Region rund um die Anlage keine ausreichende Möglichkeit zur Wärmeverwertung vorhanden ist.

Nahwärmeleitungen kommen in den Technologiernetzwerken trotz der relativ geringen Entfernungen von 1 – 2,5 km zwischen möglichen Standorten für Fermenter und BHKW nicht vor. Der Transport des Biogases erfolgt mit Biogasleitungen. Mit ihnen wird das an den jeweiligen Standorten produzierte Biogas an den zentralen Standort transportiert und dort verstromt. In der Struktur nicht mitberücksichtigt ist eine mögliche Wärmerückgewinnung aus dem entnommenen Gärrest. Dadurch kann die Wirtschaftlichkeit einer räumlichen Trennung von Fermenter und BHKW oder für Anlagen mit Gasaufbereitung und Einspeisung nochmals deutlich verbessert werden. Hier besteht jedoch noch weiterer Forschungs- und Entwicklungsbedarf.

2.4.6 Optimierung der Anlagensysteme und Ermittlung von Kennzahlen für die Wirtschaftlichkeit und Nachhaltigkeit

Wegen der starken Überschneidung mit AP5 wurden die Ergebnisse der ökonomischen Modellbewertung und Sensitivitätsanalyse bereits im AP5 dargestellt. Angaben zu den Deckungsbeiträgen bzw. dem Gewinn, der durch den Anbau von Zwischenfrüchten erzielt werden kann, wurden bereits im AP4 beschrieben. Nachfolgend wird die ökologische Bewertung mit der Methode des SPI beschrieben.

Ökologischer Fußabdruck bezogen auf Ertrag und Fläche

Im ersten Schritt wurde der SPI pro Tonne Trockensubstanz der Zwischen- bzw. Hauptfrüchte ermittelt (siehe Tabelle 12 und Tabelle 13). Der SPI pro Tonne Weizen ist wegen des niedrigeren Ertrags höher als der von Mais. Der Fußabdruck von Zwischenfrüchten ist generell deutlich niedriger als der von Hauptfrüchten, wenn sie ohne Mineraldünger und synthetische Pflanzenschutzmittel kultiviert werden. Die Nutzung von Direktsaat und Ladewagen reduziert den Fußabdruck bei Zwischenfrüchten wegen des geringeren Energieverbrauchs um ca. ein Drittel.

Die Hauptkultur ohne Zwischenfrucht hat einen etwas höheren SPI pro t Hauptfrucht, weil der Vorteil des geringeren Stickstoffbedarfs wegen der Stickstofffixierung der Leguminosenzwischenfrüchte nicht gegeben ist. Hierbei ist zudem noch nicht berücksichtigt, dass die verringerte Auswaschung von Nitrat zusätzlich eine Verringerung des Mineraldüngereinsatzes ermöglichen könnte.

Tabelle 12 SPI für Sommerzwischenfrüchte und Winterweizen in m²/t TS

SPI [m ² /t TS]	System 1	System 2	Referenz
	Haupt- und Zwischenfrucht	Haupt- u. Zwischenfrucht optimiert	ohne ZF
Winterweizen	40.266	36.062	53.150
Sommerzwischenfrucht	17.360	11.905	-----

Tabelle 13 SPI für Winterzwischenfrüchte und Mais in m²/t TS

SPI [m ² /t TS]	System 1	System 2	Referenz
	Haupt- und Zwischenfrucht	Haupt- u. Zwischenfrucht optimiert	ohne ZF
Mais	27.218	26.375	31.529
Winterzwischenfrucht	13.988	9.250	-----

In einem weiteren Schritt wurde der SPI des Zwischenfruchtanbaus auf die Fläche bezogen. Da Zwischenfrüchte wegen der ungünstigeren Wachstumsbedingungen nicht mit Hauptkulturen verglichen werden können, wurde dem Referenzsystem mit Schwarzbrache beim Systemvergleich eine Menge an Erdgas zugerechnet, die jener Menge an Methan entspricht, die aus dem Biogas der Zwischenfrüchte durch Aufbereitung bereitgestellt werden kann. Der Aufwand für die Biogasaufbereitung wurde dem System mit Zwischenfrüchten ebenfalls angerechnet. Das Biogas aus Zwischenfrüchten wird in der Praxis natürlich auch ohne Aufbereitung in BHKWs oder (Mikro-)Gasturbinen genutzt. Die LCI-Daten zur Reinigung stammen aus der ecoinvent Datenbank (www.ecoinvent.ch) und wurden im SPI entsprechend berücksichtigt.

Tabelle 14 Vergleich des Gesamtfußabdrucks der Biogaserzeugung aus Sommerzwischenfrüchten nach Winterweizen bei einem Biogasertrag von 780 m³ CH₄/ha (260m³ CH₄ pro t TS ZF)

	System 1	System 2	Referenz
	HF + ZF	HF + ZF optimiert	HF ohne ZF mit Erdgas
SPI der Weizen pro ha Anbaufläche	213.409	191.128	281.693
SPI der Sommer-ZF pro ha Anbaufläche	52.081	35.715	0
SPI der Biogaserzeugung	13.698	13.698	0
Ersatzbereitstellung von Erdgas, weil keine ZF	0	0	421.512
Biogas-Reinigung (60%→96% CH ₄) AT	125.775	125.775	0
Gesamt-SPI-Bilanz [m²/ha] in AT	405.743	367.096	703.205

Tabelle 15 Vergleich des Gesamtfußabdrucks der Biogaserzeugung aus Winterzwischenfrüchten vor Mais bei einem Biogasertrag von 1.200 m³ CH₄/ha (300m³ CH₄ pro t TS ZF)

Gesamt-SPI-Bilanz [m ² /ha]	System 1	System 2	Referenz
	HF + ZF	HF + ZF optimiert	HF ohne ZF mit Erdgas
SPI der Mais pro ha Anbaufläche	408.266	395.619	472.929
SPI der Winter-ZF pro ha Anbaufläche	55.952	37.001	0
SPI der Biogaserzeugung	21.074	21.074	0
Ersatzbereitstellung von Erdgas, weil keine ZF	0	0	648.480
Biogas-Reinigung (60%→96% CH ₄) AT	193.500	193.500	0
Gesamt-SPI-Bilanz [m²/ha] in AT	679.993	648.394	1.121.409

Die Gesamtbilanz der Biogaserzeugung aus Zwischenfrüchten ist im Vergleich zur Schwarzbrot- und einer äquivalenten Menge an Erdgas eindeutig positiv. Das Biogas aus Zwischenfrüchten verdrängt keine Hauptkulturen und kann somit in vollem Umfang Erdgas mit einem SPI Wert von 540,4 m²/ Nm³ ersetzen. Im Gegensatz dazu wäre bei der Biogaserzeugung aus Mais zu berücksichtigen, dass die benötigte Fläche für die Produktion von Speisegetreide nicht nutzbar ist und dieses zugekauft bzw. anderweitig produziert werden müsste. Der Biogaserzeugung aus Hauptkulturen ist deshalb jeweils auch der Fußabdruck der Nahrungsmittelkulturen zuzurechnen, die ersatzweise an anderen Orten produziert werden müssen (siehe Berechnung im nachfolgenden Kapitel).

Trotz der energieintensiven Aufbereitung von Biogas liegt der SPI der Biogaserzeugung aus Zwischenfrüchten um ca. 40 – 50 % unter jenem ohne Zwischenfruchtanbau und der Nutzung von Erdgas. Der Unterschied fällt größer aus, wenn das Biogas unmittelbar für die Stromerzeugung in einem BHKW genutzt und der Ökobilanz der Stromerzeugung in einem Erdgaskraftwerk gegenübergestellt wird. Die MWh Strom der Biogaserzeugung aus Zwischenfrüchten hat einen Fußabdruck von ca. 2 ha. Die MWh aus einem Gaskraftwerk bringt es auf 14 ha, also das Siebenfache.

Zusätzlich könnte der Fußabdruck von Biogas aus Zwischenfrüchten nochmals deutlich reduziert werden, wenn der Energiebedarf für die Biogaserzeugung und Aufbereitung aus der eigenen Produktion kommt. Umgekehrt würde sich der Fußabdruck deutlich verschlechtern, wenn der Eigenstrombedarf mit einem Strommix aus Deutschland oder dem EU-27 gedeckt werden würde, weil dieser zu einem wesentlich höheren Anteil aus nicht erneuerbaren Quellen stammt als der österreichische Strommix.

Ökologischer Fußabdruck der Anlagenstrukturen aus AP5

Basierend auf dem zuvor berechneten Fußabdruck der Zwischenfrüchte, wurde der SPI auf die PNS Szenarien angewandt. Zur Berechnung des SPI wurden Substrate, Transport, Netzstrom, Fermenterheizung und der Bau der Fermenter berücksichtigt. Im Fall der Zwischenfrüchte wurde der zuvor berechnete SPI für Winterzwischenfrüchte mit Direktsaat und Kurzschnittladewagen mit einem Fußabdruck von 9.250 m²/t Trockensubstanz gewählt.

Der Gesamtfußabdruck teilt sich entsprechend der Preisniveaus für Strom und Wärme zwischen den Produkten auf (Preis-Allokation), weil davon ausgegangen wird, dass die Biogas-

erzeugung vor allem durch jenes Produkt motiviert ist, mit dem die höheren Einnahmen erzielt werden können. Für die MWh Strom kann im Vergleich zur Wärme fast der zehnfache Preis erzielt werden, weshalb es immer noch Biogasanlagen ohne vollständige Wärmenutzung gibt. Die Ergebnisse der SPI Bewertung sind in Tabelle 16 dargestellt:

Tabelle 16 Vergleich des ökologischen Fußabdrucks der Anlagensysteme aus AP5

	Gesamtfußabdruck [km ² /a]	Stromproduktion [MWh/a]	SPI Strom [m ² /MWh]	Wärmeproduktion [MWh/a]	SPI Wärme [m ² /MWh]
Optimalstruktur	93,1	3.825	21.503	4.591	2.360
Biogas ohne Mais	89,3	3.900	20.236	4.680	2.221
500kW _{el} BHKW (18,5ct/kWh)	91,5	3.825	20.876	4.591	2.539
Referenzszenario	156,3	3.882	35.924	4.281	3.943

Für die Optimalstruktur ergibt sich ein Flächenverbrauch von 93,1 km² pro Jahr. Diese Fläche ist erforderlich, um die Produktion von 3.825 MWh Strom und 4.591 MWh Wärme durch die Optimalstruktur nachhaltig in die Umwelt einzubetten. Der Fußabdruck ist in der Variante Biogas ohne Mais wegen des höheren Zwischenfruchteinsatzes niedriger. Der Fußabdruck der Struktur mit nur einem 500 kW_{el} BHKW ist ebenfalls geringer, da statt zwei nur ein BHKW installiert wird. Der Fußabdruck der Biogaserzeugung, die zu 70 % auf Mais basiert (Referenzszenario: 70 % Mais + 30 % Gülle), ist dagegen ca. 75 % höher, wie jener der anderen Szenarien. Würde für die Zwischenfrucht der SPI von 11.900 m²/t TS für Sommerzwischenfrüchte zur Berechnung verwendet werden, wäre der gesamten Biogaserzeugung nur um ca. 5 % höher. Somit kann auch für weniger optimale Varianten der grundsätzliche Trend bestätigt werden.

Berücksichtigung der Flächenkonkurrenz beim ökologischen Fußabdruck

Die Biogaserzeugung wird häufig wegen der Flächenkonkurrenz zur Nahrungsmittelerzeugung kritisiert. Die Flächenkonkurrenz kann jedoch nicht unmittelbar in den Fußabdruck eingerechnet, sondern nur durch entsprechende Ersatzbeschaffung der verdrängten Nahrungsmittel berücksichtigt werden. Deshalb wurde für jeden ha, auf dem Mais für die Biogaserzeugung angebaut wird, zusätzlich zum Fußabdruck der Maisproduktion auch der Fußabdruck des Weizens angerechnet, der ersatzweise auf einer anderen Fläche angebaut werden muss, die ansonsten ungenutzt bleiben könnte und keinen ökologischen Fußabdruck verursachen würde. Der SPI von Mais erhöht sich deshalb um 60% von 3,1 ha pro t TS auf 5 ha.

Tabelle 17 Berechnung des Fußabdrucks von Weizen, der pro t TS Mais verdrängt wird, zur Berücksichtigung der Flächenkonkurrenz in der Biogaserzeugung

	Mais	Weizen	SPI Weizen der pro t TS Mais verdrängt wird	Mais inkl. Verdrängung von Weizen
Ertrag t TS	15	5,3		15
SPI [m ² /t TS]	31.529	53.150	18.780	50.308
SPI [m ² /ha]	472.929	281.693	281.693	754.622

Der SPI der Optimalstruktur und der Struktur mit einem 500 kW_{el} BHKW steigt unter Berücksichtigung der Flächenkonkurrenz um jeweils ca. 10 %. Deutlicher fällt die Zunahme beim

Referenzszenario aus, bei dem der SPI um 27 % von 156 auf 213 km²/Jahr ansteigt. Der relative Unterschied zum ursprünglichen Szenario erhöht sich dadurch nochmals deutlich und beträgt 138 %.

Tabelle 18 Vergleich des ökologischen Fußabdrucks der Anlagensysteme aus AP5 unter Berücksichtigung der Flächenkonkurrenz

	Fußabdruck inkl. Ernährungskonkurrenz [km ² /a]	SPI ohne Verdrängung von Weizen [km ² /a]	SPI Weizen der pro t TS Mais verdrängt wird	Anteil Mais im Substrat t TS/ Jahr
Optimalstruktur	103,18	93,08	18.780	537,39
Biogas ohne Mais	89,32	89,32		0,00
500kW _{el} BHKW	101,60	91,51		537,39
Referenzszenario	212,90	156,34		3.012,00

Veränderung der Treibhausgasemissionen von Rindergülle durch die Vergärung in einer Biogasanlage

Wie bei der Berücksichtigung der Flächenkonkurrenz ist es auch bei der Reduktion von Methanemissionen durch die Vergärung der Biogasgülle nicht möglich, diese unmittelbar zu berücksichtigen. Im Gegensatz zur Flächenkonkurrenz geht sie jedoch als reduzierender Faktor in die Fußabdrucksberechnung ein.

Durch die Biogasvergärung verringern sich die Emissionen von Methan bei Rindergülle um 66 % von 4.047 auf 1.345 g/m³. Im Gegenzug dazu erhöhen sich die Emissionen von Ammoniak um 1,3 % und von Lachgas um 29 % von 24 auf 31 g/m³ (Amon & Döhler 2006). Wegen der höheren Klimarelevanz von Ammoniak und Lachgas kommt die positive Wirkung der verringerten Methanemissionen statt mit 600 nur mit 280 m²/m³ oder 274 m²/t zur Geltung.

Die Berücksichtigung der Güllevergärung bewirkt eine Verringerung des Fußabdrucks der drei Szenarien mit höherem Maisanteil um ca. 4 % bzw. 4 km²/a. Wegen des geringen Gülleanteils beträgt die Verringerung beim Referenzszenario nur 0,4 % bzw. 1 km²/a.

Tabelle 19 Verringerung des ökologischen Fußabdrucks von Rindergülle durch die Biogasvergärung

	Emissionen ohne Vergärung	Emissionen mit Vergärung	Emissionsveränderung	SPI der Treibhausgase	Verringerung des Fußabdrucks von Rindergülle durch Vergärung	
	[g/m ³]	[g/m ³]		[m ² / kg]	[m ² / m ³]	[m ² / t]
CH ₄	4.047	1.345	-2.702	222	-600	
NH ₃	227	230	3	5.000	15	
N ₂ O	24	31	7	43.478	304	
Summe					-280	-274

Tabelle 20 Vergleich des ökologischen Fußabdrucks der Anlagensysteme aus AP5 unter Berücksichtigung der Vergärung von Rindergülle und Flächenkonkurrenz

	Fußabdruck inkl. Ernährungskonkurrenz u. Gülleemissionsminderung		SPI inkl. Gülleemissionsminderung	SPI Reduktion durch Biogas aus Gülle	Rindergülle im Substrat	
	Strom [m²/MWh]	Wärme [m²/MWh]	Gesamt SPI [km²/a]	[km²/a]	[m²/t]	t / Jahr
Optimalstruktur	22.854	2.508	98,93	88,84	-273,66	15.506,92
Biogas ohne Mais	19.302	2.119	89,32	85,19		15.067,00
500kW _{el} BHKW	22.211	2.701	97,36	87,27		15.506,92
Referenzszenario	48.675	5.342	211,96	155,39		3.444,44

Unter Berücksichtigung der Ernährungskonkurrenz und Gülleemissionsminderung werden die ökologischen und volkswirtschaftlichen Vorzüge der Biogaserzeugung aus Zwischenfrüchten und Gülle am deutlichsten. Der Gesamtfußabdruck ist mit 89,32 km² um 9,6 km² kleiner als jener der Optimalstruktur und um ca. 126 km² bzw. 150% niedriger als beim Referenzszenario. Bezogen auf die MWh Strom wird die Differenz wegen der höheren Auslastung der Anlage sogar noch größer.

Diskussion der Ergebnisse

Die Biogaserzeugung aus Zwischenfrüchten und Gülle, ergänzt durch die Verwertung von Grünlandaufwüchsen, die nicht für die Tierfütterung benötigt werden, weist gegenüber anderen Formen der Biogaserzeugung einen deutlich niedrigeren ökologischen Fußabdruck auf. Durch eine weitere Optimierung des Anbaus und der Beerntung sowie den Betrieb von Traktoren und anderen Maschinen mit Biogas anstatt mit Diesel und die Deckung des Strombedarfs mit dem eigenen BHKW oder anderen Erneuerbaren Energien, könnten die ökologischen Vorteile weiter verbessert werden.

Damit es zu einer verstärkten Anwendung in der Praxis kommt, scheint eine Berücksichtigung der ökologischen Vorzüglichkeit der Biogaserzeugung aus Zwischenfrüchten ähnlich wie der von Gülle unumgänglich. Aus volkswirtschaftlicher Sicht wäre sie jedenfalls mehr als gerechtfertigt. Für Anlagenbetreiber und Landwirte muss klar ersichtlich und wirtschaftlich nachvollziehbar sein, dass die Biogaserzeugung aus Zwischenfrüchten und Gülle jener aus Mais zu bevorzugen ist. Davon wären auch entsprechende Entwicklungsimpulse für die Weiterentwicklung der Technik für die einzelnen Arbeitsschritte entlang der gesamten Wertschöpfungskette zu erwarten. Unter den aktuellen Rahmenbedingungen, bei denen die Biogaserzeugung aus Zwischenfrüchten ökonomisch eher benachteiligt als begünstigt wird und mit viel größeren Herausforderungen verbunden ist, als die Nutzung von Mais, wird Landwirten und Anlagenbetreibern Idealismus und Weitblick abverlangt, um in geeignete Technik zu investieren.

2.4.7 Synthese der Einzelergebnisse, Strategieentwicklung, Dissemination und Projektmanagement

Die Synthese der Einzelergebnisse erfolgte im intensiven Austausch mit den Projektpartnern, Landwirten, Biogasanlagenbetreibern und anderen beteiligten Akteuren und floss wieder direkt in die weitere Bearbeitung der einzelnen Forschungsfragen ein. Auf eine separate Darstellung wird verzichtet, weil sie viele Wiederholungen enthalten würde. Im Folgenden liegt der Fokus deshalb auf Darstellung von Strategien, mit denen die Potenziale der Biogaserzeugung aus Zwischenfrüchten erschlossen werden können.

Verbesserung der wirtschaftlichen Rahmenbedingungen

Mit den Versuchen und Berechnungen der übrigen Arbeitspakete konnte gezeigt werden, dass die Biogaserzeugung aus Zwischenfrüchten, Gülle und Grünlandaufwüchsen im Vergleich zu jener aus Mais deutliche ökologische Vorteile aufweist. Sie bringt jedoch für Biogasanlagenbetreiber und Landwirte kaum wirtschaftliche Vorteile und ist in der Pionierphase mit höheren Anforderungen und Risiken verbunden.

Aus diesen Gründen müssten durch die Einspeisetarife eindeutige Signale für den verstärkten Einsatz dieser Rohstoffe gesetzt werden. Dadurch würde nicht nur die Rentabilität verbessert, sondern es würde auch die Aufmerksamkeit von Praktikern verstärkt auf diese Rohstoffe gelenkt werden. Eine verstärkte praktische Nutzung würde wiederum den technischen und pflanzenbaulichen Fortschritt für die Biogaserzeugung aus Zwischenfrüchten beflügeln.

Die Biogaserzeugung aus Zwischenfrüchten ist nicht nur jener aus Mais zu bevorzugen, sie hat auch gegenüber der Schwarzbrache zahlreiche ökologische und volkswirtschaftliche Vorteile und stellt eine Möglichkeit zur Steigerung der landwirtschaftlichen Wertschöpfung und Verbesserung der Zukunftssicherheit dar. Der Anbau von Zwischenfrüchten sollte deshalb auch in Zukunft in der staatlichen Förderung der Landwirtschaft in angemessener Weise berücksichtigt werden.

Empfehlungen für die Vorgehensweise bei der praktischen Anwendung

Landwirte und andere Einzelpersonen und Unternehmen, die Biogasanlagen errichten wollen, die in erster Linie auf Basis von Zwischenfrüchten betrieben werden sollen, kann folgendes Vorgehen empfohlen werden:

1. Zunächst sind ein oder mehrere Standorte und Anlagenkonzepte auszuwählen, die eine weitestgehende Abwärmenutzung ermöglichen. Als Alternative zum Betrieb eines BHKWs können auch die Aufbereitung und Treibstoffnutzung oder Einspeisung ins Gasnetz in Erwägung gezogen werden, wenn eine rentable Aufbereitung auf Erdgasqualität realisierbar ist.
2. Im nächsten Schritt wäre das Gespräch mit Landwirten rund um den/die möglichen Anlagenstandorte zu suchen, Interesse an einer Zusammenarbeit zu sondieren und Verhandlungen über die Bereitstellung von Rohstoffen und Flächen zu führen. Diese sollten auch Vereinbarungen über Preise und die Rücknahme von Gärresten einschließen. Für eine

kleinere Anlage bis 250 kW_{el.} in der auch Gülle zum Einsatz kommt, wäre eine Fläche von ca. 600 ha für den Anbau von Zwischenfrüchten erforderlich. Nach entsprechender Optimierung könnte der Flächenbedarf auch deutlich sinken. Zu Beginn sollte der Schwerpunkt auf Sommerzwischenfrüchten liegen, weil das Risiko negativer Folgen für nachfolgende Hauptkulturen minimal ist, wenn kein mehrjähriges Gras angebaut wird und die Beerntung bei guter Tragfähigkeit der Böden erfolgt. Ein mögliches Vorgehen wäre die komplette Durchführung von Anbau und Beerntung ggf. auch Ausbringung der Gärreste durch den Biogasanlagebetreiber. Mit schlagkräftiger Direktsaattechnik könnte sichergestellt werden, dass der Anbau von Sommerzwischenfrüchten unmittelbar nach der Getreide- und Rapsernte erfolgt. Ein möglichst früher Anbau ist für eine gute Bestandsentwicklung wichtiger als ein perfektes Saatbett. Mit der Beschaffung geeigneter Mäh- und Erntetechnik (Priorität Kurzschnittladewagen) könnte eine höhere Flexibilität bei der Beerntung erreicht werden. Denn die Beerntung mit Häcksler ist bei schlechter entwickelten Beständen nicht nur aus Kostengründen suboptimal, sondern auch wegen der schlechten Planbarkeit, des hohen Organisationsaufwandes und des Risikos von Bodenverdichtungen.

3. Gülle oder Aufwüchse von Grünland, das nicht oder nicht zur Gänze für die Tierfütterung genutzt wird, sind eine sinnvolle Ergänzung von Zwischenfrüchten und sollten nach Möglichkeit ebenfalls erschlossen werden. Denkbar wäre auch die Verwertung der Aufwüchse von Bachböschungen oder Verkehrsflächen, sofern mit den Eigentümern Vereinbarungen getroffen werden können, die eine rentable Nutzung ermöglichen und sichergestellt ist, dass dadurch kein schadstoffbelastetes Material in die Anlage eingebracht wird.
4. Auf Basis des realisierbaren Substrataufkommens und des Abwärmenutzungspotenzials können Anlagengröße und Anlagenstandort festgelegt werden. Ein mehrstufiges Ausbaukonzept, bei dem zunächst nur ein Fermenter und BHKW mit geringer Leistung unter 250 kW_{el.} realisiert wird, könnte allen Beteiligten zum Sammeln von Erfahrungen dienen und die Errichtung einer oder mehrerer zusätzlicher Anlagen ermöglichen.
5. Im Wechselspiel mit der wirtschaftlichen Bewertung, die auch Investitionen in Direktsaat- und Mähtechnik sowie Kurzschnittladewagen, Silofräse oder sonstige mechanische Aufbereitung in der Anlage einschließen sollte, wäre die Planung weiter zu präzisieren.
6. Ein wesentlicher Punkt für die praktische Umsetzung ist die Personalplanung. Sie muss sicherstellen,
 - a. dass im Sommer unmittelbar nach der Getreide- und Rapsernte und im September und Anfang Oktober nach der Mais-, Soja- und Kürbisernte Zwischenfrüchte angebaut werden,
 - b. dass Ende April und im Herbst auch bei kurzen Zeitfenstern eine Beerntung durchgeführt werden kann und
 - c. dass in Phasen mit geringerer Arbeitsbelastung ausreichend Zeit für Kommunikation und die Koordination der Zusammenarbeit mit vielen Landwirten und anderen Partnern zur Verfügung steht.

2.5 Herausforderungen bei der Projektbearbeitung

AP1 und AP4: Die größte Herausforderung für den Anbau und die Beerntung der Zwischenfrüchte waren in beiden Versuchsjahren die ungünstigen Witterungsbedingungen. In beiden Versuchsjahren setzten während der Getreideernte starke Niederschläge ein, die zu Verzögerungen der Getreideernte führten bzw. Landwirte zwangen, die Ernte bei mangelhafter Tragfähigkeit der Böden durchzuführen. Für den Anbau der Zwischenfrüchte standen in der Folge sehr kurze Zeitfenster mit ungünstigen Bodenverhältnissen zur Verfügung. Hinzu kam, dass die Landwirte wegen der kurzen Zeitfenster in erster Linie jene Arbeiten erledigten, die für die erfolgreiche Beerntung und Bestellung der Hauptkulturen erforderlich waren. Für Bodenbearbeitung, Anbau und Beerntung der Zwischenfrüchte war in der Folge die Zeit knapp bzw. geeignete Maschinen standen nicht zur Verfügung. Hinzu kam, dass es zum Zeitpunkt, zu dem die Arbeiten geplant waren, wieder regnete. Die Folge waren suboptimaler und verspäteter Anbau bei feuchtem und teils stark verdichtetem Boden und ungünstige Wachstumsbedingungen für die Zwischenfrüchte. Im Sommer 2010 erreichten vor allem in Oberösterreich einige Sommerzwischenfruchtbestände nur geringe Biomasseerträge, bei denen sich eine Beerntung mit Häcksler nicht gelohnt hätte. Auf dem Streifenversuch in Thalheim wurden sie kurz nach dem Auflaufen von Schnecken, Mäusen und anderen Schädlingen vollständig abgefressen. Im Herbst 2010 und Frühjahr 2011 regnete es ebenfalls immer wieder in ungünstigen Zeitabständen, sodass neben Mais-, Kürbis- und Sojaanbau und –ernte kaum Zeit für den Anbau und die Beerntung der Zwischenfrüchte blieb oder die Böden zu feucht waren, um eine Beerntung mit Häcksler und Abschiebewägen durchzuführen, ohne unverhältnismäßige Bodenschäden anzurichten. Direktsaatmaschinen und Kurzschnittladevägen, mit denen die Arbeiten in einigen Fällen noch durchführbar gewesen wären, standen trotz Zusammenarbeit mit den Maschinenringern nicht zur Verfügung. In einigen Fällen bedeutete dies, dass relativ gut entwickelte Zwischenfruchtbestände als Gründünger auf der Fläche verbleiben mussten.

AP3: Die primären Schwierigkeiten bei der Bearbeitung des Themenkomplexes „Auswirkungen der energetischen Nutzung von Zwischenfrüchten auf die Stickstoffversickerung in das Grundwasser“ lagen in der unerwartet hohen Variabilität der Ergebnisse der kontinuierlichen Wasseranteilmessungen. Dies verursachte merkbaren Mehraufwand einerseits beim Versuch die Variabilität einzugrenzen (Nachjustierung der Sensoren) andererseits bei der Bewertung und Interpretation der Messwerte. Daraus resultierte, dass eine wachstumsabhängige Differenzierung der untersuchten Managementvarianten bezüglich des Wasserverbrauchs anhand der Messwerte nicht möglich war.

Eine große Herausforderung bei den Erhebungen zu den Lachgasemissionen stellen die zum Teil sehr prinzipiellen Unterschiede in der Versuchsanstellung der ausgewerteten Arbeiten dar. So wird zum Beispiel bei Feldmessungen üblicherweise die Emission aus einer bestimmten Bodenfläche gemessen, während bei Labormessungen eine bestimmte Bodenmenge inkubiert wird und daher die Emission bodenmassebezogen angegeben wird. Bei der Auswahl und der Auswertung der Literaturstellen musste daher nach einem System vorgegangen werden, das es erlaubt, die unterschiedlichen Messergebnisse gemeinsam zu be-

werten. Dazu gehören die Erfassung der Randbedingungen der einzelnen Versuche und eine relative Bewertung von Veränderungen der Lachgasemissionen zu Vergleichsböden. Bei den Recherchen zeigte sich darüber hinaus, dass zur Verbesserung der Aussagekraft auch die Auswirkungen der Gärrestaubsbringung auf Lachgasemissionen in weiteren Arbeiten zu berücksichtigen sind.

AP5: Die Optimierung geeigneter Anlagensysteme stand vor dem Problem, dass die Eingangsdaten zum Teil wechselseitig voneinander abhängig sind. Beispielsweise werden die Technik und damit auch die Kosten für Einbringsysteme, Fermenter und Rührtechnik von der geplanten Substratzusammensetzung bestimmt, sodass flexible Substratzusammensetzungen und frei wählbare Anlagengrößen nicht oder nur durch Definition von Eingangsfunktionen statt feststehender Werte möglich gewesen wären. Da sich die Anzahl der Verschaltungsmöglichkeiten mit der Anzahl möglicher Lösungen potenziert, hätte diese Flexibilität gleichzeitig auch zu Anforderungen an die Rechenleistung geführt, die auch mit Großrechnern in vertretbarer Zeit und verfügbarem Budget kaum bewältigbar gewesen wären. Damit trotz der Einschränkung der Möglichkeiten für die PNS, nur geringfügige Einbußen bei der Ergebnisqualität in Kauf genommen werden mussten, waren umfangreiche Nachjustierungen erforderlich. Hinzu kam, dass die Festlegung einiger Eingangsdaten (Priorität Biomassepreise) ohnehin schon schwierig war oder dass sie schwer quantifizierbar waren, weil die zugrunde liegende Technik nur in wenigen Fällen oder gar nicht praxiserprobt war (Priorität Biogas- und Gülleleitungen).

AP6: Die ökologische Bewertung von Verfahren, die in der Praxis nicht oder nicht in größerem Umfang etabliert sind, steht ebenfalls vor dem Problem der Datenverfügbarkeit bzw. der Quantifizierbarkeit ökologischer Effekte. Hinzu kam, dass die Methodik weiterentwickelt werden musste, damit der Vergleich der Biogaserzeugung aus Zwischenfrüchten mit der üblichen Praxis in der Landwirtschaft und Biogaserzeugung möglich war. Für den Vergleich der Biomassebereitstellung aus Zwischenfrüchten mit der aus Hauptkulturen, sowie der Berücksichtigung von Flächenkonkurrenz und Emissionsminderung durch die Vergärung von Gülle wurden deshalb neue Lösungen entwickelt. Ein Teil der Effekte konnte wegen der unzureichenden Datenbasis nur indirekt oder gar nicht berücksichtigt werden (Priorität Lachgasemissionen auf der Fläche, Erosionsminderung, Auswirkungen auf die Nitratauswaschung).

2.6 „Highlights“ des Projektes

AP1 und AP4: Das große Interesse und die hohe Kooperationsbereitschaft von lokalen Partnern und Landwirten eröffnete Möglichkeiten, die ansonsten nicht denkbar gewesen wären. Von der landwirtschaftlichen Fachschule Güssing, der landwirtschaftlichen Umweltberatung Steiermark sowie der oberösterreichischen Wasserschutzberatung wurden Eigenmittel in die Durchführung der Streifenversuche eingebracht, die eine Durchführung der Versuche in dreifacher Wiederholung ermöglichte. Darüber hinaus wurde das Projekt auch von Saat- und Zuchtfirmen, insbesondere der Saatbau Linz, durch die kostenlose Bereitstellung eines Teils des Saatgutes unterstützt. Sehr erfreulich war auch die Risikobereitschaft und Innovations-

freudigkeit einiger beteiligter Landwirte. Insgesamt konnten dadurch trotz schwieriger Bedingungen Ergebnisse mit hoher Aussagekraft erarbeitet werden.

AP3: Das Zusammenwirken aller beteiligten Personen (eine große Zahl), die an der Versuchserrichtung, Versuchsbetreuung, Datenerhebung und –kommunikation und Ergebnisfindung beteiligt waren, war problemlos, engagiert, einfach sehr gut. Trotz der oben erwähnten Schwierigkeiten zur Wasseranteilmessung war es im Verein mit parallelen und ergänzenden Messergebnissen ($N_{\min}$, Trockenmasse, Stickstoffaufnahme) möglich, das verwendete Rechenmodell an die jeweiligen Standortbedingungen anzupassen und für die konkrete Fragestellung anzuwenden. Die erzielten Ergebnisse sind im Einklang mit jenen einer Vorstudie (FEICHTINGER et al., 2005), womit die Bewertung der Auswirkungen der energetischen Nutzung von Zwischenfrüchten auf die Stickstoffversickerung in das Grundwasser untermauert sein sollte.

Die Umlegung der Literaturstudie bezüglich der Lachgasemissionen auf die Feldversuche war trotz der teilweise sehr unterschiedlichen Versuchsbedingungen innerhalb der Literatur möglich und lieferte für die Fragestellung, wie sich der Anbau und die Nutzung von Zwischenfrüchten auf Lachgasemissionen auswirkt, plausible Ergebnisse.

AP5: Die Anbindung an konkrete Planungen und die enge Zusammenarbeit mit Praktikern trug entscheidend zur Sicherung der Aussagekraft und Praxisrelevanz der Ergebnisse bei. Deshalb sind sie bei der Präsentation auf diversen Veranstaltungen auf reges Interesse gestoßen und es liegt eine Anfrage von top-agrar vor, die Arbeiten in einem mehrseitigen Artikel vorzustellen. Die PNS hat darüber hinaus das Potenzial, in konkreten Planungsprozessen zum Einsatz zu kommen. Durch die Entwicklung von Funktionen für die Ermittlung der Fermentergröße und Investitionskosten entsprechend der Substratzusammensetzung könnte die Leistungsfähigkeit weiter gesteigert werden.

AP6: Die Ergebnisse können wichtige Beiträge zur Versachlichung der Diskussion über die Sinnhaftigkeit und Nachhaltigkeit der Biogaserzeugung liefern. Insbesondere durch die Ergänzung der Methodik zur Berechnung des ökologischen Fußabdrucks mit der Berücksichtigung der Ernährungskonkurrenz ist es möglich, alle strittigen Fragen rund um die Biogaserzeugung mit einem nachvollziehbaren Berechnungsverfahren zu berücksichtigen. Mit dieser Basis können die volkswirtschaftlichen und ökologischen Wirkungen der Biogaserzeugung im Vergleich zu fossilen und erneuerbaren Energieträgern, sowohl im Rahmen von Standortentscheidungen als bei der Festlegung der politischen Rahmenbedingungen diskutiert werden.

AP7: Im Rahmen von Syn-Energy ist es gelungen, praktische Fachkompetenz und den Stand der Forschung aus den Bereichen Landwirtschaft, Landmaschinen- und Biogastechnik, Biogasanlagenplanung, Gas- und Gülletransport, Verfahrenstechnik, Wasserwirtschaft, Klimaschutz- und Nachhaltigkeitsforschung zu integrieren. Basis dafür war die konfliktfreie Zusammenarbeit und erfolgreiche Koordination der Arbeiten unter Einbeziehung von interessierten Biogasanlagenbetreibern, Landwirten und anderen relevanten Akteuren aus Wirtschaft und Verwaltung.

Die im vorliegenden Bericht beschriebenen Arbeiten werden im Rahmen des Folgeprojektes Syn-Energy II (Proj. Nr. 829732) seit August 2011 mit erweitertem Projektteam und zusätzlichen Untersuchungsstandorten in Niederösterreich für weitere drei Jahre fortgesetzt.

2.7 Schlussfolgerungen zu den Projektergebnissen

2.7.1 Für welche anderen Zielgruppen sind die Projektergebnisse relevant und interessant und wer kann damit wie weiterarbeiten?

Die wichtigsten Zielgruppen für die Projektergebnisse sind Landwirte und Biogasanlagenbetreiber. Im Bereich des Anbaus, der Beerntung und Ausbringung der Gärreste kommen Landtechnikhersteller und Saatzuchtfirmen hinzu. Im Bereich der Biogaserzeugung sind auch Anlagenplanungs- und Ausstattungsunternehmen eine wichtige Zielgruppe. Wegen der vielfältigen ökologischen und volkswirtschaftlichen Effekte sind die Ergebnisse für sämtliche Interessen- und Entscheidungsträger relevant, die sich politisch mit Fragen in den Bereichen Energieerzeugung, Landwirtschaft, Klimaschutz, Ernährungssicherheit, Umweltschutz und Wasserschutz befassen.

Auf Grund der Möglichkeit, sich mit der Biogaserzeugung aus Zwischenfrüchten eine zusätzliche Einkommensquelle zu erschließen, sind die Ergebnisse besonders für Landwirte von Nutzen. Wobei eine Verbesserung der wirtschaftlichen Rahmenbedingungen zur Senkung des damit verbunden Risikos beitragen würde.

Biogasanlagenbetreiber können mit dem Einsatz von Zwischenfrüchten der zunehmenden Kritik an der Biogaserzeugung aus Mais begegnen und durch eine Verringerung des Maisanteils in der Fruchtfolge das pflanzenbauliche und ökologische Risiko, das mit intensivem Maisanbau verbunden ist, verringern.

Die Ergebnisse liefern eine wichtige Grundlage zur Diskussion der künftigen Gestaltung des Ökostromgesetzes und anderer Bestimmungen, die im Bereich Landwirtschaft und Biogaserzeugung relevant sind.

2.7.2 Ökologische und Volkswirtschaftliche Vorzüge der Biogaserzeugung aus Zwischenfrüchten

Die Auswirkungen von Begrünungen auf die wasserwirtschaftlichen Kenngrößen Grundwasserneubildung, Stickstoffversickerung und daraus resultierender Nitratkonzentration des Sickerwassers sowie den Erosionsschutz und Humusgehalt sind stark an den Aufwuchs und somit an die Trockenmassebildung einer Begrünung gebunden und damit auch stark vom Anbau- und Erntetermin geprägt.

Der möglichst unmittelbare Anbau einer Begrünung nach der Ernte der Hauptfrucht und ein möglichst später Umbruch vor dem Anbau der Folgefrucht sind somit nicht nur aus Gründen der Energieerzeugung und des Klimaschutzes sondern auch aus Sicht des Wasser-, Erosions- und Bodenschutzes anzustreben.

Üppige Zwischenfruchtbestände mit hohem Leguminosenanteil sind differenzierter zu bewerten, denn sie können das Risiko für Nitratauswaschung und Lachgasemissionen erhöhen,

wenn sie nicht beerntet werden. Leguminosengemenge mit Beerntung und sachgerechter nachfolgender Bodenbearbeitung sind auch aus Sicht des Wasserschutzes unbedenklich. Deshalb trägt die Biogaserzeugung aus Zwischenfrüchten nicht nur unmittelbar durch Energieerzeugung zum Klimaschutz bei, sondern ermöglicht durch die Stickstofffixierung der Leguminosen in Zwischenfruchtgemengen auch die Substitution von Mineraldünger in der konventionellen Landwirtschaft.

Andererseits sind Zwischenfrüchte ohne Leguminosenanteil, die zum Zwecke der Gründüngung und zum Erosionsschutz angebaut werden, aus Sicht des Wasserschutzes zwar vorteilhaft, aus Sicht des Klimaschutzes jedoch nicht, weil sie das Risiko von Lachgasemissionen im Vergleich zur Schwarzbrache erhöhen können.

Bezüglich der Auswirkungen der Beerntung auf den Humusgehalt ist das Vergleichssystem von Bedeutung. Im Vergleich zur Schwarzbrache ist jede Art der Begrünung für den Humusgehalt von Vorteil. Beim Vergleich gut entwickelter Zwischenfruchtbestände, die der Gründüngung dienen oder beerntet werden, ist zu berücksichtigen, dass zusätzlich zu den Wurzelsystemen und Ernterückständen, die nach einer Beerntung ohnehin auf der Fläche verbleiben, auch die Gärreste mit einem hohen Anteil an schwer abbaubarer und humusbildender organischer Substanz wieder auf die Flächen ausgebracht werden. Deshalb sind nur geringe Unterschiede zu erwarten. Hinzu kommt, dass Landwirte in der gängigen Praxis des Zwischenfruchtanbaus in der Regel nicht an einer üppigen Biomassebildung interessiert sind, weil diese bei der Bodenbearbeitung oder beim Anbau der Folgekultur Probleme bereiten könnte.

2.7.3 Ausdehnung der Biogaserzeugung aus Zwischenfrüchten

Derzeit ist eine gehörige Portion Überzeugung die wichtigste Voraussetzung für erfolgreiche Biogaserzeugung aus Zwischenfrüchten. Der übliche Weg der Biogaserzeugung aus Mais ist mit geringeren fachlichen Anforderungen und Risiken verbunden, weil erforderliches Wissen und Technik bekannt und verbreitet sind. Die Bedingungen scheinen mit jenen in der Anfangsphase des Biolandbaus vergleichbar zu sein, in der die Entwicklung von überzeugten Pionieren vorangetrieben wurde, die sich von praktischen Problemen und wirtschaftlichen Herausforderungen nicht beirren ließen.

Ein wichtiges Hemmnis ist auch der hohe Aufwand für die Zusammenarbeit mit Landwirten, die Ackerflächen im näheren Umfeld der Anlage bewirtschaften und Zwischenfrüchte liefern könnten. Sie erfordert ein hohes Maß an kommunikativer und sozialer Kompetenz, um tragfähige Lieferbeziehungen aufzubauen und die Versorgung der Anlage mit einer ausreichenden Menge an Substraten sicherzustellen. Eine Herausforderung ist dies insbesondere bei Winterzwischenfrüchten, bei denen Ertragseinbußen der Folgekulturen nicht völlig auszuschließen sind. Darüber hinaus ist wegen der witterungsbedingten, niedrigeren Ertragsstabilität von Zwischenfrüchten für den Fall Vorsorge zu treffen, dass zu wenig oder zu viel Biomasse zur Verfügung steht. Deshalb sollte auch die Bereitschaft vorhanden sein, in Jahren mit sehr schlechter Entwicklung von Sommerzwischenfrüchten, Winterzwischenfrüchte län-

ger wachsen zu lassen oder zur Not auch gewisse Mengen an Ganzpflanzensilage von Getreide zu liefern, die eigentlich für den Drusch angebaut wurden.

Wie oben bereits angedeutet, lassen bisherige Arbeiten Parallelen der Biogaserzeugung aus Zwischenfrüchten mit der Entwicklung des Biolandbaus vermuten. Denn sie wird bisher nur in größerem Umfang praktiziert, wenn dafür idealistische Motive und entsprechende Risikobereitschaft vorhanden sind. Ökonomische Anreize, ähnlich der Förderung des Biolandbaus, würden für einen deutlichen Entwicklungsschub sorgen und die Biogaserzeugung aus Zwischenfrüchten von der Pionierphase in die breitere Anwendung bringen. Im Vergleich zum Biolandbau wäre jedoch eine Anpassung von Agrarumweltprogrammen nicht ausreichend, weil diese keine ausreichende Sicherheit bieten, um sich mit Investitionen in Millionenhöhe für 15 Jahre zu binden. Einer Änderung der Einspeisevergütung wäre deshalb der Vorzug zu geben. Dass es für die breitere Anwendung keine grundlegenden und unüberwindbaren Hindernisse gibt, lässt sich schon aus den bisherigen Ergebnissen schlussfolgern. Wie mit Syn-Energy gezeigt werden konnte, würden die ökologischen und volkswirtschaftlichen Vorteile der Biogaserzeugung aus Zwischenfrüchten eine angemessene Vergütung in mehr als ausreichendem Maße rechtfertigen.

Ein bedeutendes Problem für die weitere Ausdehnung der Biogaserzeugung scheint auch die große Wirkung von Negativbeispielen bestehender Anlagen zu sein. Die abschreckende Wirkung kann auch unter optimalen Bedingungen den Einstieg von Landwirten in die Biogaserzeugung verhindern. Deshalb sind nicht nur die Bedingungen für die Errichtung neuer Anlagen zu verbessern, sondern auch für bestehende Biogasanlagen Vorkehrungen zu treffen, die eine Optimierung des Betriebs ermöglichen. Anpassungen der Einspeisetarife sollten deshalb auch bei vorhandenen Anlagen einen nachhaltigen Betrieb ermöglichen. Verbesserungen könnte auch der Ausbau kompetenter Beratung und Qualitätssicherung bei Anlagenplanung und -bau bringen.

3 Ausblick

Im August 2011 startete das Folgeprojekt Syn-Energy II. Mit erweitertem Projektkonsortium werden die drei Streifenversuche zur Absicherung der Ergebnisse für weitere drei Jahre fortgeführt und das vorhandene Know How zum Thema gebündelt. Ein weiterer Exaktversuch kommt hinzu, der bisher schon von der Bioforschung Austria und dem Energiepark Bruck/Leitha in Niederösterreich durchgeführt wurde. Daneben wird in Zusammenarbeit mit Landwirten und Biogasanlagenbetreibern die praktische Erprobung im anlagentechnischen Maßstab fortgesetzt. Besonderes Augenmerk wird der Biogaserzeugung im Ökologischen Landbau gewidmet. Neben der pflanzenbaulichen und technischen Weiterentwicklung werden auch die Arbeiten zur ökologischen Bewertung weitergeführt (Klima-, Erosions- und Wasserschutz, Humusgehalt, Bodenfruchtbarkeit, Ökobilanz, Ökologischer Fußabdruck):

- Verstärkte Erprobung von Direktsaattechnik für den Zwischenfruchtanbau
- Erprobung und Demonstration der Erntekette mit Kurzschnittladewagen und mechanischer Zerkleinerung vor Einbringung in die Biogasanlage

- Weiterentwicklung von Erntelösungen für ertragreiche Sommerzwischenfruchtbestände mit Anteilen von Sonnenblumen oder anderen Pflanzen, die mit Häcksler und breitem Schneidwerk direkt beerntet werden, weil sie nach dem Mähen mit herkömmlicher Technik nicht geschwadet werden können. Neben Lösungen zur Abdichtung der Abschiebewägen sind auch Alternativen für die Konservierung zu finden. Denn bei TS-Gehalten von weniger als 15 % ist die Silierung mit üblicher Technik problematisch.
- Entwicklung von kostengünstigen Lösungen zur Wärmerückgewinnung aus dem entnommenen Gärrest, wenn kein BHKW in unmittelbarer Nähe des Fermenters betrieben wird. Eine deutliche Senkung der Kosten für die Fermenterbeheizung im Winter würde es erleichtern, Fermentersysteme mit geringerer Leistung zu errichten und das Transportaufkommen für Substrate und Gärreste zu senken. Das Biogas mehrerer kleinerer Fermentersysteme könnte dann an einem zentralen Ort für eine effektive Nutzung der BHKW-Abwärme oder die Aufbereitung und Treibstoffnutzung gebündelt werden.
- Weiterentwicklung der Gärrestverwertung, damit Emissionen klimarelevanter Gase, insbesondere Lachgas, weiter gesenkt werden können
- Errichtung und Betrieb einer Demonstrationsanlage, zum Nachweis der praktischen Umsetzbarkeit der im AP5 dargestellten Optimalstruktur

Anhang

3.1 Inhaltsverzeichnis

Anhang.....	45
3.1 Inhaltsverzeichnis.....	45
3.2 Tabellenverzeichnis.....	45
3.3 Abbildungsverzeichnis.....	48
3.4 AP1 Optimierung von Anbausystemen durch die Integration von Zwischenfrüchten, die für die Biogasproduktion genutzt werden	50
3.5 AP2 - Biogaspotenzial und begleitende Analytik.....	55
3.6 AP3 - Bewertung der Effekte für den Klima- und Wasserschutz	56
3.7 AP4 – Bewertung der technischen Verwertbarkeit von Zwischenfrüchten und Anpassung der Ernte-, Konservierungs- und Fermentertechnik im anlagentechnischen Maßstab	60
3.8 AP5 – Konzeption von Anlagensystemen für die kombinierte Verwertung von Zwischenfrüchten mit Gülle, Grünschnitt, Stroh etc.	64
3.9 AP6	83
3.10 Literatur:.....	87

3.2 Tabellenverzeichnis

Tabelle 1 Teilziele des Projektes	6
Tabelle 2 Fruchtfolgegestaltung auf den drei Versuchsstandorten in Güssing (BGLD), Thalheim/Wels (OÖ) und Hasendorf/Leibnitz (Stmk) mit Anbau und Ernteterminen	9
Tabelle 3 Erträge der Sommerzwischenfrüchte 2009 und des nachfolgenden Weizens auf dem Streifenversuch Güssing (BGLD).....	13
Tabelle 4 Erträge des Gemenges aus Sommer- und Winterzwischenfrüchte 2010/2011 mit zweimaliger Beerntung auf dem Streifenversuch Güssing (BGLD).....	13
Tabelle 5 Erträge der Sommerzwischenfrüchte 2009 und des nachfolgenden Weizens auf dem Streifenversuch Thalheim/Wels (OÖ)	14
Tabelle 6 Erträge der Winterzwischenfrüchte 2009/2010 und des nachfolgenden Silomais auf dem Streifenversuch Hasendorf/Leibnitz (STMK)	16
Tabelle 7 Erträge der Winterzwischenfrüchte 2010/2011 auf dem Streifenversuch Hasendorf/Leibnitz (STMK)	16
Tabelle 8 durchschnittlicher Biogas- und Methanertrag aus 18 Batchgärversuchen.....	18

Tabelle 9 Ergebnisse und Gewinnermittlung der Nutzung von Zwischenfrüchten für die Biogaserzeugung im anlagentechnischen Maßstab (nicht beerntete Schläge mit Flächenanteil von 26% mit berücksichtigt).....	22
Tabelle 10 Zusammenstellung der Kosten und Betriebsergebnisse der berechneten Anlagenstrukturen	26
Tabelle 11 SPI für Sommerzwischenfrüchte und Winterweizen in m ² /t TS.....	31
Tabelle 12 SPI für Winterzwischenfrüchte und Mais in m ² /t TS.....	31
Tabelle 13 Vergleich des Gesamtfußabdrucks der Biogaserzeugung aus Sommerzwischenfrüchten nach Winterweizen bei einem Biogasertrag von 780 m ³ CH ₄ /ha (260m ³ CH ₄ pro t TS ZF).....	31
Tabelle 14 Vergleich des Gesamtfußabdrucks der Biogaserzeugung aus Winterzwischenfrüchten vor Mais bei einem Biogasertrag von 1.200 m ³ CH ₄ /ha (300m ³ CH ₄ pro t TS ZF).....	32
Tabelle 15 Vergleich des ökologischen Fußabdrucks der Anlagensysteme aus AP5	33
Tabelle 16 Berechnung des Fußabdrucks von Weizen, der pro t TS Mais verdrängt wird, zur Berücksichtigung der Flächenkonkurrenz in der Biogaserzeugung.....	33
Tabelle 17 Vergleich des ökologischen Fußabdrucks der Anlagensysteme aus AP5 unter Berücksichtigung der Flächenkonkurrenz.....	34
Tabelle 18 Verringerung des ökologischen Fußabdrucks von Rindergülle durch die Biogasvergärung	34
Tabelle 19 Vergleich des ökologischen Fußabdrucks der Anlagensysteme aus AP5 unter Berücksichtigung der Vergärung von Rindergülle und Flächenkonkurrenz	35
Tabelle 20 Ergebnisse der Batchgärversuche (Trockensubstanzgehalte; Biogas- und Methanertrag bezogen auf die organische Trockensubstanz, gesamte Trockensubstanz und Frischmasse; Methangehalt im Biogas; Angaben zu den Saatstärken der Gemengeanteile in kg/ha)	55
Tabelle 21 Mittlere Grundwasserneubildung, Stickstoffversickerung und daraus resultierende Nitratkonzentration im Sickerwasser für die Kernversuchsvarianten in Thalheim im Zeitraum 19.7.2009 – 24.2.2011	59
Tabelle 22 Mittlere Grundwasserneubildung, Stickstoffversickerung und daraus resultierende Nitratkonzentration im Sickerwasser für die Kernversuchsvarianten in Güssing im Zeitraum 20.7.2009 – 26.4.2011	59
Tabelle 23 Mittlere Grundwasserneubildung, Stickstoffversickerung und daraus resultierende Nitratkonzentration im Sickerwasser für die Kernversuchsvarianten in Hasendorf im Zeitraum 24.7.2009 – 30.3.2011.....	59
Tabelle 24 Wirtschaftliche Bewertung der Sommerzwischenfrüchte 2009	61
Tabelle 25 Wirtschaftliche Bewertung der Sommerzwischenfrüchte 2010	62
Tabelle 26 Wirtschaftliche Bewertung der Winterzwischenfrüchte 2009/2010 und 2010/2011	63
Tabelle 27 Wirtschaftliche Bewertung der Sommer-Winterzwischenfrucht/-gemenge 2010/2011	63

Tabelle 28: Entfernung der Lieferantengruppen zu den drei dezentralen Standorten, an denen Fermenter betrieben werden können, in Kilometer (in Klammer die einzelnen Lieferanten).....	66
Tabelle 29 Entfernungen der drei dezentralen Standorte zum zentralen Standort, an dem ins Nahwärmenetz eingespeist werden kann	66
Tabelle 30: Kenndaten der Substrate	67
Tabelle 31: Rindergülmengen mit 9 % Trockensubstanzgehalt die von 8 Lieferantengruppen für die Biogaserzeugung bereitgestellt werden können	67
Tabelle 32 verfügbare Mengen an Zwischenfrüchten (24% TS), Wiesengrünschnitt (30% TS), Silomais (33% TS).....	67
Tabelle 33: Substratmischung für die Fermenterbeschickung bezogen auf Frischmasse	68
Tabelle 34 Kennzahlen, die für Fermenter und BHKWs gleicher Größe einheitlich sind; Betriebskosten (inkl. Versicherung, Wartung, Personalkosten).....	69
Tabelle 35 Angaben zu Fermentern, Endlager und technischer Ausstattung, die je nach Substratzusammensetzung variieren (Mischungsverhältnis der Substrate bezieht sich auf die Frischmasse).....	69
Tabelle 36: Biomassetransportkosten.....	70
Tabelle 37: Investitionskosten für Biogasleitung, Kühlung und Verdichtung netto ohne UST	71
Tabelle 38: Investitionskosten für Nahwärmeleitung, netto ohne UST	72
Tabelle 39: Anlagenkonfiguration und Investitionskosten des Netzwerks mit 2 Fermenter am Standort 1.....	74
Tabelle 40: Betriebsergebnisrechnung des Netzwerks mit 2 Fermenter am Standort 1	74
Tabelle 41: Optimalstruktur Variante 1, Substrate und deren Lieferanten.....	75
Tabelle 42: Anlagenkonfiguration und Investitionskosten des optimalen Netzwerks	76
Tabelle 43: Betriebsergebnisrechnung des optimalen Netzwerks bei unterschiedlichen Substratkosten	76
Tabelle 44: Optimalstruktur, Substrate und deren Lieferanten.....	77
Tabelle 45: Zwischenfruchtmengen zusätzlich errechnet aus Maismenge und deren Verteilung.....	78
Tabelle 46: Substratmischung für Fermenterbeschickung bezogen auf Frischmasse ohne Mais	78
Tabelle 47: Anlagenkonfiguration und Investitionskosten des Netzwerks ohne Mais	78
Tabelle 48: Betriebsergebnisrechnung des Netzwerks ohne Mais bei unterschiedlichen Substratkosten	79
Tabelle 49: Optimales Netzwerk ohne Maissilage, Substrate und deren Lieferanten.....	79
Tabelle 50: Anlagenkonfiguration und Investitionskosten mit zentralem 500 kWel BHKW	80
Tabelle 51: Betriebsergebnisrechnung mit zentralem 500 kWel BHKW, mit Einspeisetarif von 18,5 Cent/kWh	80
Tabelle 52 Betriebsergebnisrechnung mit zentralem 500 kWel BHKW, mit Einspeisetarif von 20,5 Cent/kWh	81
Tabelle 53 Referenzszenario mit 30% Gülle, 70 % Mais und nur einem Fermentersystem und BHKW mit je 500 kW am Standort 1 sowie Nahwärmeleitung zur Zentrale.....	81

Tabelle 54 Betriebsergebnisrechnung des Referenzszenarios (30% Gülle, 70 % Mais; nur ein Fermentersystem und BHKW mit je 500 kW am Standort 1 sowie Nahwärmeleitung zur Zentrale).....	82
Tabelle 55: Belieferung mit Maissilage und Gülle	82
Tabelle 56 Betriebsergebnisrechnung des Referenzszenarios ohne Abwärmenutzung (30% Gülle, 70 % Mais; nur ein Fermentersystem und BHKW mit je 500 kW am Standort 1).....	83
Tabelle 57 Arbeitsgänge für Winterweizen und Zwischenfrucht mit Zeit- und Energiebedarf	84
Tabelle 58 Zusammenfassung der SPI-Eingangsdaten für Winterweizen und Sommerzwischenfrüchte	85
Tabelle 59 Arbeitsgänge für Winterweizen und Zwischenfrucht mit Zeit- und Energiebedarf	86
Tabelle 60 Zusammenfassung der SPI-Eingangsdaten für Winterweizen und Sommerzwischenfrüchte	87

3.3 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1 geografische Lage und Design des Hauptblocks der drei Streifenversuche	8
Abbildung 2: Optimalstruktur mit Fermentersystemen am Standort 1 und 3 und 2 BHKWs ..	27
Abbildung 4: Erträge Sommer-ZF-Gemenge Güssing (Anbau 28.7. – Ernte 16.10).....	50
Abbildung 5: Erträge Winterweizen Güssing 2010.....	50
Abbildung 6: Erträge des Gemenges aus Sommer –und Winterzwischenfrüchten (Anbau 20.7.2010 erste Beerntung 11.10.2010)	51
Abbildung 7: Erträge des Gemenges aus Sommer –und Winterzwischenfrüchten (Anbau 20.7.2010 zweite Beerntung 26.4./4.5. 2011)	51
Abbildung 8: Erträge Sommer-ZF-Gemenge Thalheim (Anbau 23.7. – Ernte 15.10)	52
Abbildung 9: Erträge Winterweizen Thalheim 2010	52
Abbildung 10: Erträge von zwei Varianten mit Klee grasuntersaaten in Thalheim 16.10.2010	53
Abbildung 11: Erträge Winterzwischenfrüchte 2009/2010 Hasendorf (Anbau 13.9. - Ernte 3.5.).....	53
Abbildung 12: Erträge Silomais Hasendorf 2010	54
Abbildung 13: Erträge Winterzwischenfrüchte 2010/2011 Hasendorf (Anbau 1.10. - Ernte 26.4.) Die Auswertung umfasst nur die Varianten 2 bis 8.	54
Abbildung 14: Kartografische Darstellung der Anlagenstandorte und Lieferantengruppen....	65
Abbildung 15 Angaben zu Fermentern, Endlager und technischer Ausstattung, die je nach Substratzusammensetzung variieren (Mischungsverhältnis der Substrate bezieht sich auf die Frischmasse) Teil 2	70
Abbildung 16: Maximalstruktur - Biogas aus Gülle und Biomasse (eigene Darstellung).....	73

3.4 AP1 Optimierung von Anbausystemen durch die Integration von Zwischenfrüchten, die für die Biogasproduktion genutzt werden

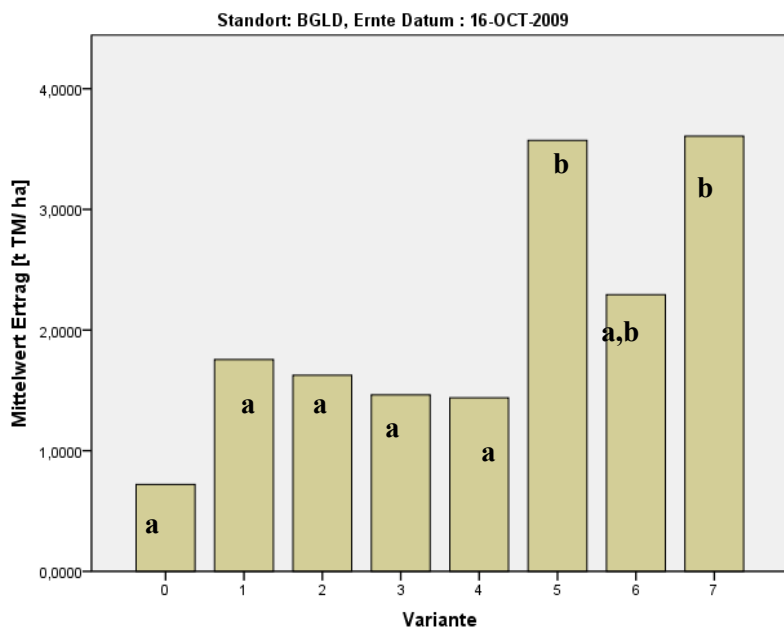


Abbildung 3: Erträge Sommer-ZF-Gemenge Güssing (Anbau 28.7. – Ernte 16.10)

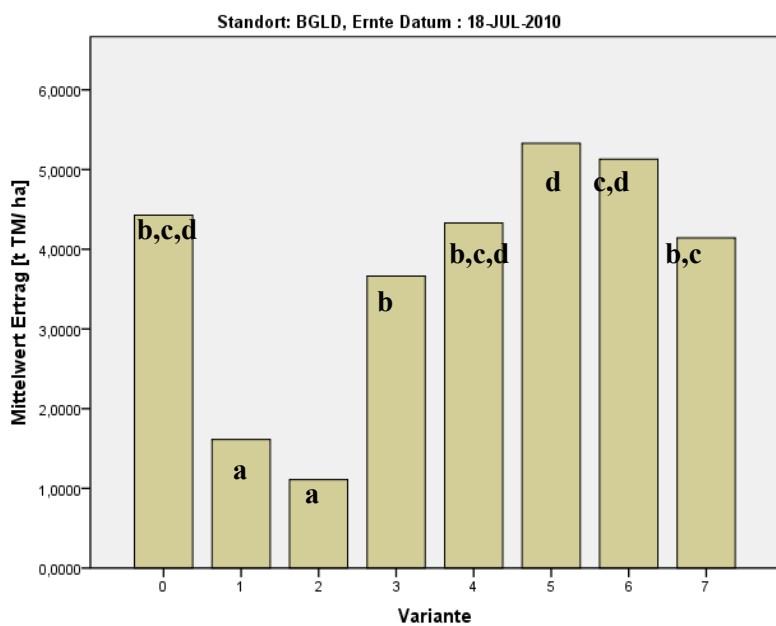


Abbildung 4: Erträge Winterweizen Güssing 2010

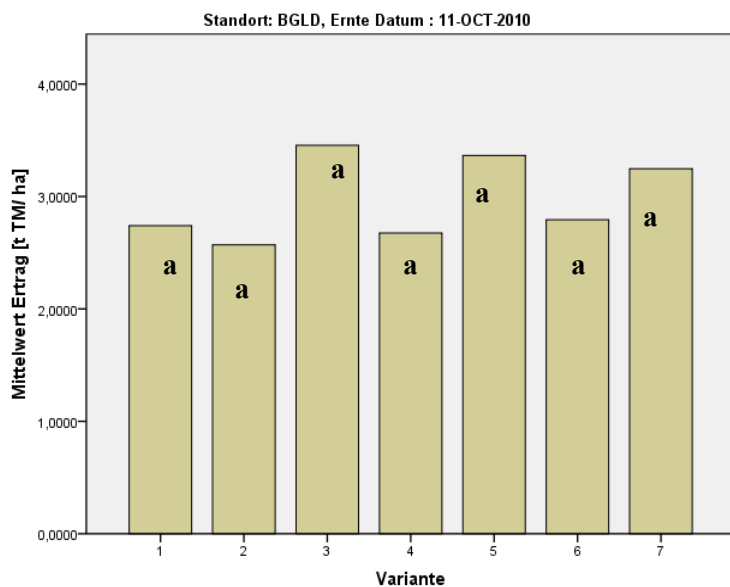


Abbildung 5: Erträge des Gemenges aus Sommer –und Winterzwischenfrüchten (Anbau 20.7.2010 erste Beerntung 11.10.2010)

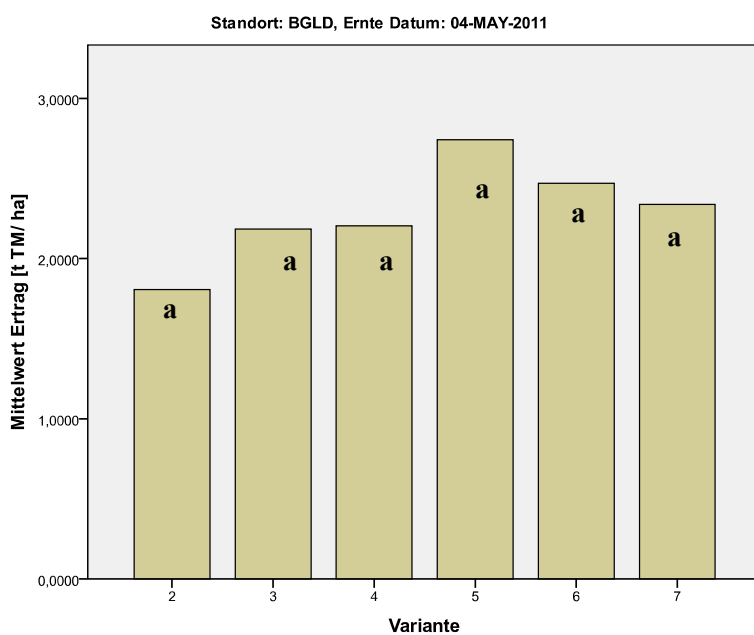


Abbildung 6: Erträge des Gemenges aus Sommer –und Winterzwischenfrüchten (Anbau 20.7.2010 zweite Beerntung 26.4./4.5. 2011)

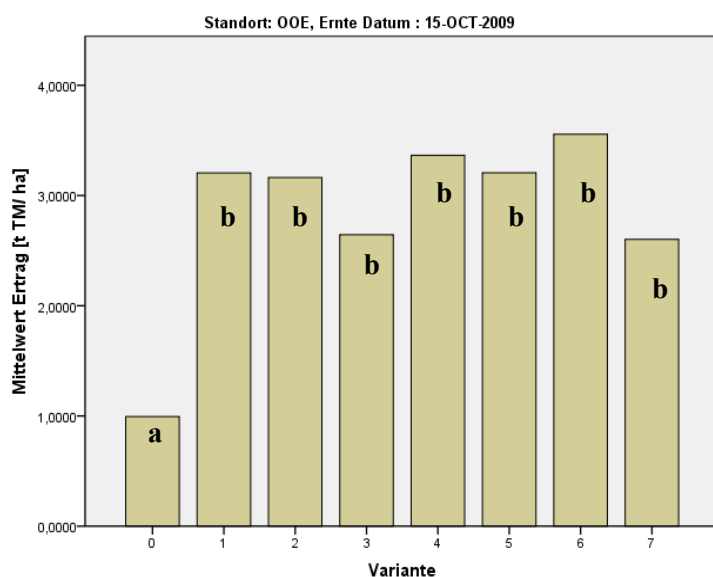


Abbildung 7: Erträge Sommer-ZF-Gemenge Thalheim (Anbau 23.7. – Ernte 15.10)

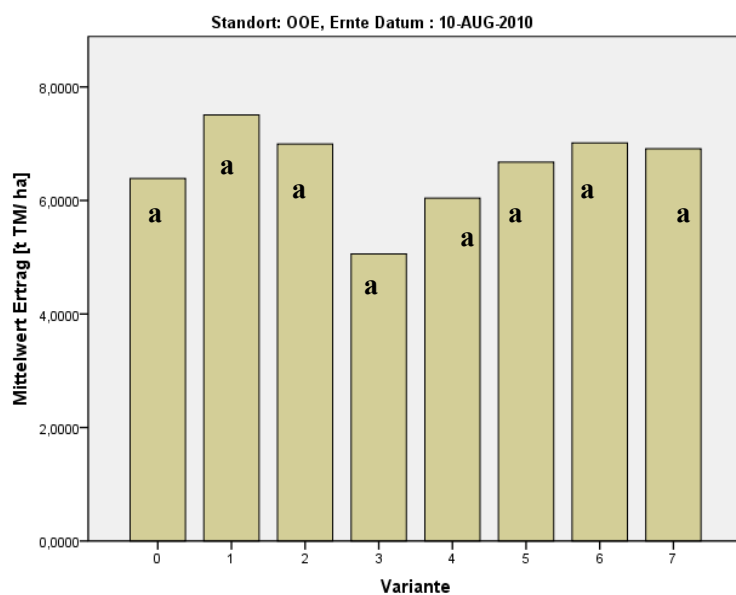


Abbildung 8: Erträge Winterweizen Thalheim 2010

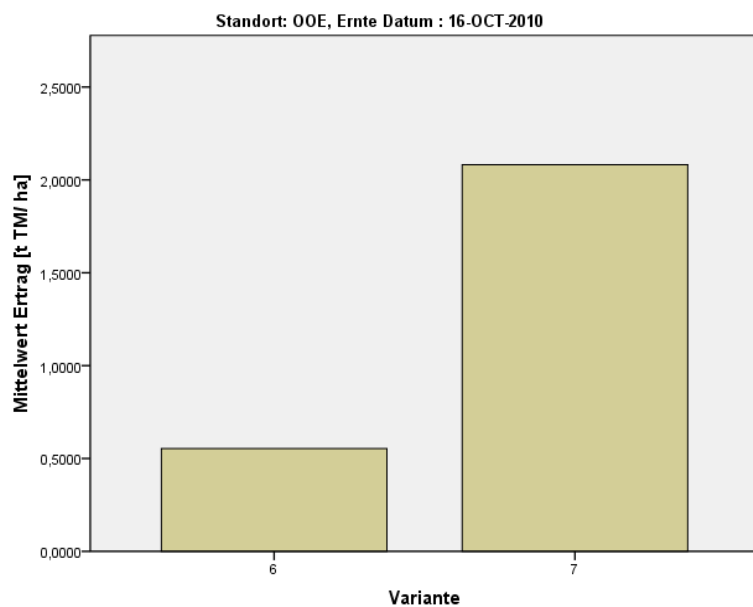


Abbildung 9: Erträge von zwei Varianten mit Klee grasuntersaaten in Thalheim 16.10.2010

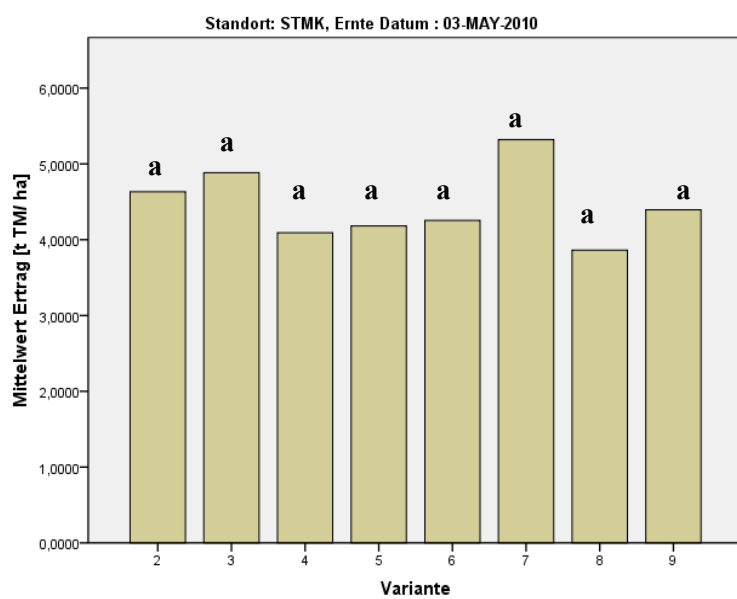


Abbildung 10: Erträge Winterzwischenfrüchte 2009/2010 Hasendorf (Anbau 13.9. - Ernte 3.5.)

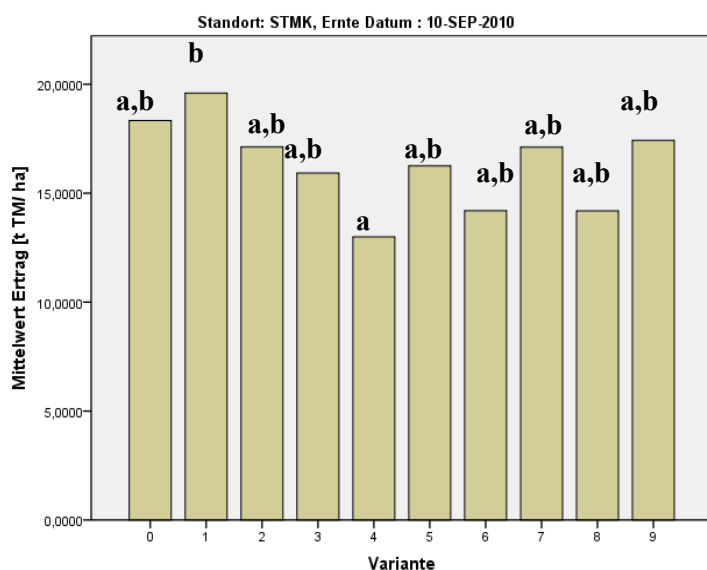


Abbildung 11: Erträge Silomais Hasendorf 2010

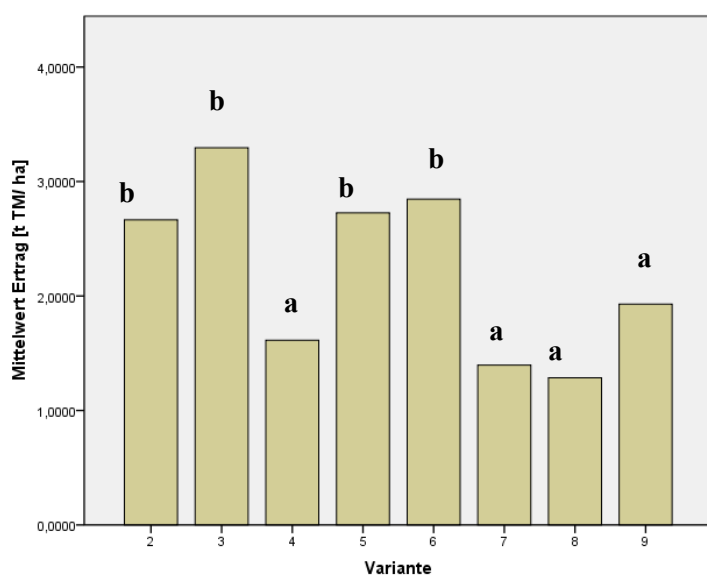


Abbildung 12: Erträge Winterzwischenfrüchte 2010/2011 Hasendorf (Anbau 1.10. - Ernte 26.4.) Die Auswertung umfasst nur die Varianten 2 bis 8.

3.5 AP2 - Biogaspotenzial und begleitende Analytik

Tabelle 21 Ergebnisse der Batchgärversuche (Trockensubstanzgehalte; Biogas- und Methanertrag bezogen auf die organische Trockensubstanz, gesamte Trockensubstanz und Frischmasse; Methangehalt im Biogas; Angaben zu den Saatstärken der Gemengeanteile in kg/ha)

ZF-Gemenge mit Angabe der Saatstärken in kg/ha		Mittel SommerZF	Mittel WinterZF	Ölrettich (2) / Phacelia (5) / Alex.klee (8)		Ackerbohne (100)/ Sonnenblume (100)		Alex.klee (24)/ Knautgras (10)		Sorghum (10) / Rotklee (10)	
Biogas- und Methanertrag bezogen auf				Thalheim OÖ 1/2/3 09		Thalheim OÖ 6 09		Güssing 5 09		Güssing 6 09	
				Mittelwert	Fehler	Mittelw.	Fehler	Mittelwert	Fehler	Mittelw.	Fehler
TS (%FM)				14,8		15,3		15,6		16,9	
org. TS	Biogas [NI/kg oTS]	565	625	494		461		481		568	
	Methan [NI/kg oTS]	289	315	296		278		280		321	
TS	Biogas [NI/kg TS]	514	573	441		424		436		476	
	Methan [NI/kg TS]	262	289	264		256		254		269	
Frischmasse	Biogas [NI/kg FM]	85	85	65,3		65,0		68,3		80,6	
	Methan [NI/kg FM]	43	43	39,1		39,2		39,7		45,5	
Methangehalt [%]		52	50	59,8		60,2		58,2		56,5	
		Rotkl. (7), W.-rübse (3), Triticale (28), Johannisroggen (5)		Alexandrinerklee (6), Ölrettich (3), Sonnenblume (3)		Sudangras (9), Peluschke (26)		Alex.-klee (9)		Ackerbohne	
		Güssing wi 5 2011		Güssing 5 2010		Güssing 6 10		Güssing 7 10		Tobaj	
		Mittelwert	Fehler	Mittelwert	Fehler	Mittelw.	Fehler	Mittelwert	Fehler	Mittelw.	Fehler
TS (%FM)		18,2		15,9		18,8		18,7		12,8	
org. TS	Biogas [NI/kg oTS]	666	4	602		584		635		599	
	Methan [NI/kg oTS]	318	5	270		268		304		270	
TS	Biogas [NI/kg TS]	617	4	541		544		583		562	
	Methan [NI/kg TS]	295	4	243		249		279		253	
Frischmasse	Biogas [NI/kg FM]	112,4	0,7	85,9		102,2		109,2		71,8	
	Methan [NI/kg FM]	53,8	0,8	38,6		46,9		52,2		32,3	
Methangehalt [%]		47,9	0,4	44,9		45,9		47,8		45,0	
		Grünroggen (100)		W.-erbse (45), W.-roggen(48)		Winterrüben (11)		Raygras (36)		Gr.rog.(120)	
		Stmk 2/3 2010		Stmk 5 2010		Stmk 7 2010		Stmk 6 2010		Stmk 2 11	
		Mittelwert	Fehler	Mittelwert	Fehler	Mittelw.	Fehler	Mittelw.	Fehler	Mittelw.	Fehler
TS (%FM)		7,9		9,4		12,9		12,7		18,7	
org. TS	Biogas [NI/kg oTS]	791	76	611		394		555		705	
	Methan [NI/kg oTS]	410	42	314		198		283		336	
TS	Biogas [NI/kg TS]	716	69	577		364		519		650	
	Methan [NI/kg TS]	371	38	297		182		265		310	
Frischmasse	Biogas [NI/kg FM]	56,7	5,4	54,2		47,1		65,9		121,2	
	Methan [NI/kg FM]	29,4	3,0	27,9		23,6		33,6		57,8	
Methangehalt [%]		51,8	0,3	51,4		50,1		51,0		47,7	
		Inkarnetklee (12) /Grünroggen (60)		Inkarnatklee (14), Grünrog. (52), Johannisroggen (6)		Inkarnatklee (8), Wickroggen (58)		Wintererbse (50) /Grünroggen (60)			
		Stmk 6 2011		Güssing 6 Wi 2011		Güssing 7 Wi 2011		Stmk 5 2011			
		Mittelwert	Fehler	Mittelwert	Fehler	Mittelwert	Fehler	Mittelwert	Fehler		
TS (%FM)		18,2		18,3		18,2		17,9			
org. TS	Biogas [NI/kg oTS]	682	5	612		606		670			
	Methan [NI/kg oTS]	318	1	319		315		341			
TS	Biogas [NI/kg TS]	599	5	563		558		612			
	Methan [NI/kg TS]	279	1	293		290		311			
Frischmasse	Biogas [NI/kg FM]	108,6	0,8	103,0		101,7		109,2			
	Methan [NI/kg FM]	50,7	0,2	53,7		52,8		55,5			
Methangehalt [%]		46,7	0,1	52,1		51,9		50,8			

Fehler ist die Abweichung vom Mittelwert sowohl nach oben als auch nach unten (+/-).

3.6 AP3 - Bewertung der Effekte für den Klima- und Wasserschutz

3.6.1 Methodik

An drei Versuchsstandorten (Thalheim/Zentralraum Oberösterreich, Güssing/Südburgenland, Hasendorf/Südoststeiermark) wurden Streifenversuche angelegt, wo die Auswirkungen verschiedenen Zwischenfruchtmanagements zu unterschiedlichen Aspekten untersucht wurden. An jedem Standort wurden 4 Parzellen als Kernversuch ausgewählt, wo detaillierte Untersuchungen zum Bodenwasserhaushalt und zur Stickstoffdynamik vorgesehen wurden. Die Ergebnisse sollten unter anderem der Justierung jenes Rechenmodells dienen, welches zur Bewertung der Stickstoffversickerung ins Grundwasser bei unterschiedlichem Zwischenfruchtmanagement herangezogen wird. Auf diesen 4 Parzellen wurden in fünf Messebenen (30, 50, 70, 90, 110 cm u. GOK) Sensoren (EC-5 und EC-TM) zur kontinuierlichen Erhebung (Stundentakt) der Wassergehalte und der Bodentemperaturen mit Data – Logger installiert. In denselben Messebenen wurde periodisch (Wochentakt) die Saugspannung im Bodenwasser mittels Gipsblockelementen durch Handablesung eines örtlichen Stationsbetreuers gemessen. Im Zuge der Instrumentierung wurden die Bodenprofile an den Standorten feldbodenkundlich begutachtet und für die einzelnen Bodenhorizonte wurden Bodenproben gezogen. An den entnommenen Bodenproben sind im Labor die bodenphysikalischen Parameter Korngrößenverteilung, Feststoffdichte, Lagerungsdichte, Substanzanteil, Porenanteil, Wasseranteils- /Saugspannungsbeziehung (pF), und die hydraulische Leitfähigkeit des gesättigten bzw. teilgesättigten Bodens und die bodenchemischen Kenngrößen Humusgehalt, pH-Wert und Karbonatgehalt bestimmt worden. Die Laborergebnisse sind Grundlage der bodenphysikalischen Parametrisierung der Standorte.

Zusätzlich erfolgten Untersuchungen die den Stickstoffhaushalt im Boden betreffen. Dazu wurden aus jeder Versuchsparzelle Bodenproben als Flächenmischproben mit 8 Einstichen aus den Tiefenstufen 0-30 cm, 30-60 cm und 60-90 cm gezogen und auf den Gehalt an mineralischem Stickstoff (Nmin) untersucht. Die Berechnung des mineralischen Stickstoffgehalts erfolgte anhand der Analysenergebnisse für Ammonium (NH₄) und Nitrat (NO₃). Über die relative Atommasse der einzelnen Stoffe wurde aus diesen beiden Substanzen (NH₄, NO₃) der Stickstoffanteil berechnet. Weiters wurde zu Umlegung der Ergebnisse auf trockenen Boden und der Umrechnung von den Einheiten Masse/Masse auf Masse/Fläche die Tiefe der Schicht (jeweils 30cm), die Rohdichte und die Trockensubstanz des Bodens berücksichtigt. Zur endgültigen Bestimmung des mineralischen Stickstoffgehalts wurde der Steinanteil einkalkuliert. Der Steinanteil wurde nach dem Schätzverfahren nach APPEL berechnet. Bei diesem Schätzverfahren wird ein Korrekturfaktor berechnet, der den gemessenen mineralischen Stickstoffgehalt bei einem steinhaltigen Boden reduziert.

Die Effekte der energetischen Nutzung von Zwischenfrüchten auf Bodenwasserhaushalt und Stickstoffdynamik im Boden wurden anhand des numerischen Rechenmodells SIMWASSER/STOTRASIM (STENITZER 1988 und FEICHTINGER 1998) bewertet. Dieses beschreibt und bewertet für die ungesättigte Zone landwirtschaftlich genutzter Flächen die Wasser- und Stickstoffflüsse in eindimensionaler, vertikaler Richtung und wurde an den

Messwerten zu den Varianten des Kernversuchs für die regionalen und standörtlichen Bedingungen justiert. Die Anwendung von SIMWASER/STOTRASIM benötigt exakte Informationen zu den Rahmenbedingungen an der Bodenoberfläche und die Materialeigenschaften des Bodens. Rahmenbedingungen an der Bodenoberfläche sind einerseits das Wettergeschehen und andererseits die Nutzung und das Management der Fläche. Zu den Bodeneigenschaften sind Wasserspeicher- und Wasserleitfähigkeit, Porosität, Humusgehalt und mineralischer Stickstoffvorrat von primärem Interesse. Zur Wetterinformation werden die Tageswerte der maximalen und minimalen Lufttemperatur und relativen Luftfeuchtigkeit, jene der mittleren Windgeschwindigkeit und die Tagessummen des Niederschlags und der Globalstrahlung benötigt.

Zur Nutzung und zum Management erfordert das Rechenmodell Angaben darüber welche Vegetation (Kultur) in welchem Zeitraum (Anbau, Ernte) auf der Fläche war, wann welche Bodenbearbeitungsmaßnahmen (Art, Tiefe) erfolgten und Angaben zu Bewässerung und Düngung. Zu einer allfälligen Bewässerung sind der Zeitpunkt und die Menge/Intensität anzugeben. Zu (Stickstoff) Düngergaben sind der Zeitpunkt, die Menge und die Aufteilung in mineralische Anteile (NO₃-N, NH₄-N) und organischen Input (Norg, C/N, NO₃-N, NH₄-N) anzugeben. Die Angaben zu Nutzung und Management stammen von der protokollierten Realität der Versuchsdurchführung und so von den lokalen Versuchsbetreuern. Zu den Bodeneigenschaften an den drei Versuchsstandorten wurden die Laborergebnisse mit den im Feld simultan gemessenen Wasseranteilen und Saugspannungen vereint und mit dem Softwarepaket RETC (van Genuchten et al., 1991) einer Funktionsbeschreibung zugeführt. Aus Arbeiten in anderen Arbeitspaketen standen die periodischen Ermittlungen der mineralischen Stickstoffvorräte im Boden und der Wuchsleistungen (Trockenmassebildung) der Kulturen und deren Stickstoffgehalte/Stickstoffaufnahme zur Verfügung.

Die benötigten Wetterdaten und Informationen zum Management und Nutzung der Flächen konnten im erforderlichen Umfang etabliert werden. Die Parametrisierung der Bodeneigenschaften konnte mit der skizzierten Methodik zufriedenstellend abgeschlossen werden. Die Feldmessungen lieferten saubere Daten zu den Bodentemperaturen und zu den Saugspannungen des Bodenwassers. Zur kontinuierlichen Erhebung der Wasseranteile mit den EC-5 bzw. EC-TM – Sensoren sind die Erwartungshaltungen trotz der großen Mühen einer Nachjustierung nicht ganz erfüllt worden. Die Ergebnisse dazu verdeutlichten folgendes:

- Die Wassergehalte, welche mit den EC-5 bzw. EC – TM – Sensoren gemessen wurden und Grundlage der berechneten Profilwassermengen sind, weisen eine hohe Variabilität auf, was sich mit Fortdauer der Projektlaufzeit eher verstärkte. Dies wurde im Zwischenbericht mit der Notwendigkeit einer Nachjustierung bereits angesprochen, jedoch konnten die Mühen einer Nachjustierung die angesprochene Variabilität auch nicht merklich eindämmen.
- Messergebnisse für Zeiträume im Winterhalbjahr, in denen die (Boden)Temperaturen nahe dem Gefrierpunkt liegen, mussten aus einer weiteren Bewertung ausgeschlossen werden, da sich die Wassergehaltsmessung unter diesen Bedingungen als fehlerhaft herausstellte.

- Die Ergebnisse zu Variante 1 in Thalheim hatten eine deutlich höhere Schwankung der Profilwassermenge als die übrigen Varianten haben und wurden schließlich für eine weitere Bewertung ausgeschlossen.
- Die Ausschöpfung von Wasservorräten des Bodens ist in Hasendorf am höchsten (150 – 200 mm), liegt in Güssing bei 80 – 120 mm und ist in Thalheim (Variante 1 ausgeklammert) mit 50 – 60 mm am geringsten.
- Eine Differenzierung zwischen der jeweiligen Variante 0 (ohne Zwischenfrüchte) und den übrigen 3 Varianten (mit Zwischenfruchtanbau) ist bezüglich des Bodenwasserhaushalts durch die Profilwassermenge de facto nicht gegeben.
- Die unterschiedliche Ausschöpfung des Bodenvorrates durch die Hauptkulturen 2010 ist durch unterschiedliche Wuchsleistungen/Trockenmassebildungen nicht erklärbar.
- Die gemessenen Wassergehalte in Folge der angesprochenen Variabilitäten und Disharmonien, welche sowohl in einer Schwäche der Sensorik als auch in der Natur des belebten Ökosystems begründet sein können, erlauben es nicht, den Wasserverbrauch der einzelnen Zwischenfrüchte bzw. Hauptkulturen belegbar zu quantifizieren.

Zu dieser Kurzdarstellung von durchgeführten Arbeiten und Methodik im Rahmen der Bewertung der Auswirkungen unterschiedlichen Zwischenfruchtmanagements auf die Stickstoffversickerung ist im angeschlossenen Bericht detaillierter ausgeführt.

Zur Bewertung der Lachgasemissionen für die verschiedenen Zwischenfruchtmischungen und Nutzungsvarianten wurde eine Literaturstudie durchgeführt. Mittels diverser wissenschaftlicher Forschungsberichte (AULAKH et al.,1991; BAGGS et al.,2003; FLESSA et al.,2002; FLESSA et al.,1995; GARCIA-RUIZ et al.,2007; LARSSON et al.,1998; MILLAR et al.,2005; VELTHOF et al.,2000) wurden entscheidende Einflussparameter für die Lachgasemissionen identifiziert und deren Einfluss quantifiziert, um die Auswirkungen unterschiedlicher Bergrünungsvarianten auf die Höhe der Lachgasemissionen abzuschätzen. Als Ergebnis der Recherche konnten 129 auswertbare Fälle erhoben werden, die einen Vergleich verschiedener Nutzungsvarianten und Zwischenfruchtmischungen erlauben. Die Literatur wurde, um eine Abschätzung der Lachgasemissionen vorzunehmen, systematisch erfasst. Einbezogen wurden alle erhebbaren Angaben, welche die Höhe der Lachgasemissionen beeinflussen und in den diversen Versuchen gemessen wurden. Einflussfaktoren, wie der Wassergehalt im Boden, das C/N Verhältnis und die Form der Bearbeitung oder Nutzung (Einarbeiten/Mulchen) sowie Randbedingungen, wie Bodeneigenschaften, die Art der Messung (Feld/Labor) und die Messdauer wurden erfasst.

Die oben beschriebene Systematisierung erlaubt eine Umlegung der erhobenen Ergebnisse bezüglich der Lachgasemissionsrate auf die Versuchsreihen des Projektes SYNENERGY. Mittels einer linearen Regression wurden die erhobenen Werte auf die Feldversuche umgelegt. Mit der linearen Regression werden die Koeffizienten einer linearen Gleichung unter Berücksichtigung mehrerer unabhängiger Variablen geschätzt.

3.6.2 Ergebnisse Stickstoff- Bodenwasserhaushaltsmodellierung

Tabelle 22 Mittlere Grundwasserneubildung, Stickstoffversickerung und daraus resultierende Nitratkonzentration im Sickerwasser für die Kernversuchsvarianten in Thalheim im Zeitraum 19.7.2009 – 24.2.2011

THALHEIM				Mittel im Zeitraum 19.7.2009 - 24.2.2011				
	ZF - MAN	BB - HF	BB - ZF	Niederschlag mm/a	GWNB mm/a	Vers. -N kg N / ha a	NO ₃ -Konz. mg NO ₃ / l	OA mm / a
Thalheim 0	ohne	Pflug	Mulchen	844	387	42,7	48,8	5
Thalheim 1	Verbleib	Pflug	Kons.	844	388	44,5	50,6	4
Thalheim 2	Abfuhr	Kons.	Kons.	844	388	37,4	42,6	4
Thalheim 3	Abfuhr	Pflug	Kons.	844	388	38,2	43,5	4

Zwischenfrucht, ZF 2010: Ölrettich, Phacelia, Alexandrinerklee
 Zwischenfrucht, ZF 2011: Mungo, Alexandrinerklee, Winterrübe/Perko, Grünschnittroggen, Winterwicke
 Hauptfrucht, HF 2010: Winterweizen
 ZF - MAN: Management/Nutzung der Zwischenfrucht
 BB - HF: Bodenbearbeitung zur Hauptfrucht
 BB - ZF: Bodenbearbeitung zur Zwischenfrucht

Tabelle 23 Mittlere Grundwasserneubildung, Stickstoffversickerung und daraus resultierende Nitratkonzentration im Sickerwasser für die Kernversuchsvarianten in Güssing im Zeitraum 20.7.2009 – 26.4.2011

GÜSSING				Mittel im Zeitraum 20.7.2009 - 26.4.2011				
	ZF - MAN	BB - HF	BB - ZF	Niederschlag mm/a	GWNB mm/a	Vers. -N kg N / ha a	NO ₃ -Konz. mg NO ₃ / l	OA mm / a
Güssing 0	ohne	Kons.	Grubber	727	79	1,3	7,4	290
Güssing 1	Verbleib	Kons.	Grubber	727	63	1	6,9	252
Güssing 2	Abfuhr	Kons.	Grubber	727	63	1	6,9	252
Güssing 3	Abfuhr	Pflug	Grubber	727	63	1	6,8	252

Zwischenfrucht, ZF 2010: Weidelgras + Buchweizen
 Zwischenfrucht, ZF 2011: Mungo, Sudangras, Alexandrinerklee, Grünschnittroggen, Johannisroggen, Winterrübe, Winterwicke
 Hauptfrucht, HF 2010: Winterweizen
 ZF - MAN: Management/Nutzung der Zwischenfrucht
 BB - HF: Bodenbearbeitung zur Hauptfrucht
 BB - ZF: Bodenbearbeitung zur Zwischenfrucht

Tabelle 24 Mittlere Grundwasserneubildung, Stickstoffversickerung und daraus resultierende Nitratkonzentration im Sickerwasser für die Kernversuchsvarianten in Hasendorf im Zeitraum 24.7.2009 – 30.3.2011

HASENDORF				Mittel im Zeitraum 24.7.2009 - 30.3.2011				
	ZF - MAN	BB - HF	BB - ZF	Niederschlag mm/a	GWNB mm/a	Vers. -N kg N / ha a	NO ₃ -Konz. mg NO ₃ / l	OA mm / a
Hasendorf 0	ohne	Pflug	Mulchen	914	337	38,5	50,4	61
Hasendorf 1	Verbleib	Pflug	Kons.	914	329	32,7	43,8	60
Hasendorf 2	Abfuhr	Kons.	Kons.	914	320	30,2	41,5	59
Hasendorf 3	Abfuhr	Pflug	Kons.	914	319	30,3	41,7	59

Zwischenfrucht, ZF 2009/10 und ZF 2010/11: Grünschnittroggen
 Hauptfrucht, HF 2010: Silomais
 ZF - MAN: Management/Nutzung der Zwischenfrucht
 BB - HF: Bodenbearbeitung zur Hauptfrucht
 BB - ZF: Bodenbearbeitung zur Zwischenfrucht

3.7 AP4 – Bewertung der technischen Verwertbarkeit von Zwischenfrüchten und Anpassung der Ernte-, Konservierungs- und Fermentertechnik im anlagentechnischen Maßstab

Die wirtschaftliche Bewertung erfolgte unter folgenden Bedingungen/Annahmen:

- Ertragseinbußen bei Hauptkulturen nach Winterzwischenfrüchten werden durch frühzeitige Ernte Ende April/Anfang Mai möglichst gering gehalten bzw. vollständig vermieden. Dasselbe gilt für Bodenschäden durch nasse Ernte bei Sommerzwischenfrüchten, in dem die Ernte noch in der letzten Schönwetterperiode im Frühherbst erfolgt. Im Gegenzug wird angestrebt, die Zwischenfrüchte möglichst frühzeitig zu säen. Bei Sommerzwischenfrüchten erfolgt dies möglichst unmittelbar nach der Ernte, damit die Schattengare noch genutzt werden kann. Ein Erreichen der Rentabilität wird durch möglichst kostengünstigen Anbau und Ernte sowie einen Leguminosenanteil im Zwischenfruchtgemenge angestrebt und nicht durch maximalen ZF-Ertrag.
- Den Zwischenfrüchten werden nur jene Kosten angerechnet, die sonst nicht angefallen wären. Pflugfurche oder sonstige Grundbodenbearbeitung erfolgt in der Regel nur einmal und wird der Hauptkultur zugeschlagen. Dasselbe gilt für Festkosten. Diese werden den Zwischenfrüchten nur dann angerechnet, wenn für den Anbau und die Beerntung zusätzliche Investitionen getätigt werden, die sonst nicht angefallen wären. Bei Fremdarbeiten z. B. von Maschinenringen oder Lohnunternehmen werden die tatsächlich angefallenen Kosten angesetzt.
- Erträge werden mit der in Biogasanlagen üblichen Wiege- und Messtechnik ermittelt.
- Kosten für Düngung, Düngemittelausbringung bzw. Nährstoffentzug werden nicht angesetzt, weil eine Menge an Biogasgülle zurückgenommen wird, die dem angelieferten Substrat entspricht (Nährstoff-Kreislaufwirtschaft). Nährstoffverluste bei der Ausbringung und vermiedene Auswaschungsverluste sind schwer abschätzbar. Da sie sich je nach Düngeintensität tendenziell aufwiegen, wurden sie bisher nicht angesetzt.
- Bei Anteilen von Leguminosen im Zwischenfruchtgemenge wird angenommen, dass pro Tonne Leguminosen-Trockenmasseertrag (oberirdischer Aufwuchs) 35 kg N fixiert werden. Pro kg N wurden 50 Cent angesetzt. Ertragsanteile wurden grob geschätzt.
- Sonstige Vorfruchteffekte (z. B. Einsparung von Pflanzenschutzmitteln, Erosionsschutz, Bodenverbesserung) wurden bisher nicht bzw. nur in einem Fall angesetzt.

Tabelle 25 Wirtschaftliche Bewertung der Sommerzwischenfrüchte 2009

Nr	Sommerzwischenfrucht/- gemenge 2009	Anbau- datum	Ernte- datum	Tage	Flä- che ha	Ertrag t TS/ha	% TS	Ausgaben €/ha				Einnahmen		Nfix- Legumi- nosen €/ha	sonst. Vor- frucht- effekte	Öpul	Gewinn €/ha	
								Saat- gut	Anbau	Ernte, Trans.	Summe	€/t TS	€/ha				inkl. Öpul	ohne Öpul
1	Alexandrinerklee (30)	27.07	05.10	70	2,5	2,2	18,7	53	132	252	437	127	278	38		130	9	-121
2	Markstammkohl (5), Perko (1), Kümmel (10), Hirse (1)	27.07			2,0			12	97		109	Ausfall				130	21	-109
3	A-bohne (40), So.-Rog. (40), A.Klee (7), Senf (2), Ölrett. (2)	27.07	30	65	2,0	1,5	16,6	48	107	41	195	50	75	13		130	23	-108
4	Sorghum Latte (7)	23.07	05.10	74	0,5	4,1	22,4	100	50	101	251	49	204			130	83	-47
5	Ackerbohne (40), Alex.klee (7), Senf (2), Ölrett. (2), Cutmax (6)	23.07	05.10	74	1,5	2,0	25,3	48	50	79	177	50	99	24		130	76	-54
6	Landsberger Gemenge 70 (Weidelgras, Winterwicke, Inkar- natklee)	28.07	05.10	69	2,1	3,1	21,8	102	61	99	262	50	151	37		130	56	-74
7	Alex.Klee (13), Markstammkohl (4,8), Sonnenblume (4,8)	28.07	05.10	69	3,0	3,4	22,4	101	88	129	317	64	218	30		130	61	-69
8	Zuckerhirse (10) Ausfall-Dinkel (zu 90 % ertragsbildend)	04.08	05.10	62	1,2	3,0	35,4	42	88	129	259	63	186			130	57	-73
9	Einjähriges Raygras (12), Alex.klee (12), Wicke (9)	27.07	05.10	70	1,4	4,6	22,2	102	88	129	319	64	295	57		130	164	34
10	Ackerbohne (40), Lupine (40), Alex.Klee (6), Sonnenblume (2)	04.08			1,2			104	95		199	Ausfall durch Überflutung				130	57	-73
b1	Alex.klee (24), Raygras (10)	03.08	29.10	87	7,1	2,7	22,9	63	77	174	314	74	200	47		160	93	-67
												Beerntung als Ballensilage						
b3	Hirse (Goliath), Rotklee	12.08	18.10	67	5,0	1,8	25,7	105	50	88	243	72	130	16	50	130	83	-47
	Summe/Durchschnitt SZ 2009				34	2,8	23,8	71	85	122	249	66	184	29			55	-78

Tabelle 26 Wirtschaftliche Bewertung der Sommerzwischenfrüchte 2010

Nr	Sommerzwischenfrucht/- gemenge 2010	Anbau- datum	Ernte- datum	Tage	Flä- che ha	Ertrag t TS/ha	% TS	Ausgaben €/ha				Einnahmen		Nfix- Legumi- nosen €/ha	sonst. Vor- frucht- effekte	Öpul	Gewinn €/ha	
								Saat- gut	Anbau	Ernte, Trans.	Summe	€/t TS	€/ha				inkl. Öpul	ohne Öpul
8	Alexandrinerklee (), Perserklee (), Weidelgras (), insg (30)	14.7	5.10	83	8,8	2,60	29%	72	160	110	342	65	169	23		130	-20	-150
4	Alexandrinerklee (12), einjähr. Raygras (15), Perko (3)	20.7	7.10	79	2,5	3,4	28%	59	74	114	248	65	218	29		130	130	0
5	Kanad.Blatterbse (35), einjähr. Raygras (8), Sonnenblume (4)	5.8	7.10	63	0,4	3,8	27%	160	95	120	375	65	244	33		130	32	-98
6	Sommerkörnerraps LISORA (10)	10.8			0,3			70	60		130	zu geringe Menge				130	0	-130
6a	Sommerfuttermittels LIFORUM (10), Sandhafer (10)	10.8			0,3			70	60		130	zu geringe Menge				130	0	-130
7	Biomax Gras (20)	10.8			0,5			70	60		130	zu geringe Menge				130	0	-130
9	Rona Sorghum (30)	10.8			0,5			70	60		130	Ausfall				130	0	-130
10	Gras (10), Ackerbohnen (80)	10.8			1			70	60		130	Ausfall				130	0	-130
17	Rotkleeuntersaat Durchschnitt	16.4.	22.10.	189	8,1	2,4	25%	35,0	22	145	202	80	192	168		130	288	158
18	Rotkleeuntersaat gut entwickelt	16.4.	22.10.	189	2,1	4,9	25%	35,0	22	145	202	80	392	343		130	663	533
19	Ackerbohnen (150) nicht beemtet, weil Aberkennung der ÖPUL befürchtet	30.7.			1,3	6,1	12%	50,0	30		80	gewalzt		106		130	156	26
20	Alexandrinerklee (14) Sudangras Piper (9)	30.7.	22.10.	84	2,3	1,9	12%	44,0	50	120	214	65	122	31		130	69	-61
21	Alex.-Klee (14), Sudangras Piper (9)	30.7.	22.10.	84	1	3,8	15%	44,0	50	120	214	65	244	33		130	193	63
22	Alex.-Klee (12), Sudangras (8)	28. 7.		>90	9,9			27	60		87	nicht befahr- bar		32		130	75	-55
23	Sudangras/Hirse (15), Alex- klee/Leguminose (6 bzw. 26)	29. 7.		>90	2,4			30	45		75	nicht befahr- bar		28		130	83	-47
24	Alex.-Klee (13), Sudangras Piper (6)	9.7.		>91	12,2			35	65	0	100	nicht befahr- bar		28		130	58	-72
	Summe/Durchschnitt SZ 2010				51,3	3,6	22%	62	63	125	235	69	226	96			71	-59

Tabelle 27 Wirtschaftliche Bewertung der Winterzwischenfrüchte 2009/2010 und 2010/2011

Nr	Winterzwischenfrucht/-gemenge 2009/2010 und 2010/2011	Anbau- datum	Ernte- datum	Tage	Flä- che ha	Ertrag t TS/ha	% TS	Ausgaben €/ha				Einnahmen		Nfix- Legumi- nosen €/ha	sonst. Vor- frucht- effekte	Öpul	Gewinn €/ha	
								Saat- gut	Anbau	Ernte, Trans.	Summe	€/t TS	€/ha				inkl. Öpul	ohne Öpul
11	Grünschnittroggen (111), Erbse (24)	28.9	8.5	222	3,0	5,8	24	79	90	150	319	64	368	30		130	209	79
12	Grünschnittroggen (111), Wicke (24)	28.9	8.5	223	3,0	5,8	24	91	90	150	331	64	368	30		130	197	67
13	Grünschnittroggen (125), Wicke (25)	5.10	24.5	231	10,0	4,1	25	50	79	126	255	60	248	22		130	145	15
14	Grünschnittroggen (67)	5.10	24.5	231	2,7	5,9		52	234	150	436	65	386			130	80	-50
	Summe/Mittelwert 2009/2010				18,7	5,4	24	68	123	144	335	63	343	27			158	28
13	Grünschnittroggen (100) Wintererbse (20)	22.9	30.4	220	2,28	5,7	22	48	70	155	273	68	388	30		130	275	145
14	Grünschnittroggen (100) Wintererbse (30)	22.9	30.4	220	0,56	5,4	23	50	75	155	280	68	367	28		130	245	115
15	Grünschnittroggen (70) Wintererbse (20) Triticale (40)	10.10	30.4	202	1,17	4,8	21	42	72	155	269	68	326	25		130	213	83
	Summe/Mittelwert 2010/2011				4,0	5,3	22	47	72	155	274	68	360	28			244	114

Tabelle 28 Wirtschaftliche Bewertung der Sommer-Winterzwischenfrucht/-gemenge 2010/2011

Nr	Sommer-Winterzwischenfrucht/- gemenge 2010/2011	Anbau- datum	Ernte- datum	Tage	Flä- che ha	Ertrag t TS/ha	% TS	Ausgaben €/ha				Einnahmen		Nfix- Legumi- nosen €/ha	sonst. Vor- frucht- effekte	Öpul	Gewinn €/ha	
								Saat- gut	Anbau	Ernte, Trans.	Summe	€/t TS	€/ha				inkl. Öpul	ohne Öpul
12	Landsberger Gemenge (50)	8.7			8,0			114	60	0	174	gemulcht					178	48
12			18.5	314		3,4	28			127	127	65	220	30		130		
1a	Landsberger Gemenge (50), Bastard-Raygras (10)	22.7	28.8	37	0,4	2,1	29	130	95	120	345	65	284	19			320	190
1b			7.10	40		2,3	22			120	120	65	146	20				
1c			30.4	205		4,2	24			138	138	68	286	37		130		
2a	Landsberger Gemenge (50), Hirse (2)	22.7	7.10	77	0,8	3,9	24	128	75	114	317	65	252	34			276	146
2b			30.4	205		4,1	23			138	138	68	279	36		130		
3a	Landsberger Gemenge (60)	20.7	7.10	79	2,3	5,2	25	114	80	114	308	65	335	45			413	283
3b			30.4	205		4,6	23			138	138	68	309	40		130		
11a	Cutmax Gräsermischung (40)	14.8	5.10	52	0,3	1,4	16	70	130	173	373	65	88				-120	-250
11b			5.5	212		4,5	26			255	255	65	290	0		130		
	Summe/Mittelwert 2010/2011				11,8	7,1	24	111	95	287	452	132	498	52			213	83

3.8 AP5 – Konzeption von Anlagensystemen für die kombinierte Verwertung von Zwischenfrüchten mit Gülle, Grünschnitt, Stroh etc.

3.8.1 Eingangsdaten für die PNS

Die Daten wurden von den Projektpartnern erhoben und auf Sinnhaftigkeit überprüft. In diesem Kapitel wird ein kurzer Überblick gegeben, welche Daten in der Optimierung Eingang gefunden haben. Im Wesentlichen können die Daten nach zwei Eingabebereichen der PNS gegliedert werden – nach Inputs also Eingangsmaterialien (wie z. B. Substrate) und nach Technologien.

Rahmenbedingungen der Modellregion

Folgende Rahmenbedingungen wurden beim Aufsetzen der Maximalstruktur in der PNS berücksichtigt:

- Abwärme der BHKWs, die nicht für die Fermenterbeheizung benötigt wird, kann nur am zentralen Standort und nicht bei den drei übrigen Anlagenstandorten genutzt werden. Am zentralen Standort kann jedoch die gesamte Abwärme ganzjährig in das Nahwärmenetz direkt ab Motor eingespeist werden.
- An den drei dezentralen Standorten sind jeweils Fermentergrößen für die Erzeugung der benötigten Biogasmenge für BHKWs mit den Kapazitäten von 80, 160, 250 und 500 kW_{el} möglich. Der Wärmebedarf für die Fermenterbeheizung kann über ein Blockheizkraftwerk oder mittels Hackgutfeuerung bereitgestellt werden.
- Im Einzugsgebiet der Anlagenstandorte befinden sich zahlreiche Rinderbauern mit einem durchschnittlichen Viehbestand von 25 - 50 GVE und einem Betrieb mit knapp über 200 GVE am Standort 3. Insgesamt fallen pro Jahr ca. 15.500 m³ Rindergülle mit einem Trockensubstanzgehalt von ca. 9 % an. In der PNS wird davon ausgegangen, dass proportional zur lieferbaren Rindergülle auch Biomasse im Ausmaß von 34 % Zwischenfrüchte (TS Gehalt 24 %), 18 % Wiesengrünschnitt (TS-Gehalt 30 %) und 16 % Silomais (TS-Gehalt 33 %) je GVE geliefert werden kann. Die Anteile beziehen sich auf die Frischmasse. Die Rohstoffe werden dabei mittels Güllefass, Abschiebewagen oder Ladewagen zu Anlage transportiert. Die anfallenden Transportkosten werden in der Regel von den Substratlieferanten getragen. Damit sie in der Wirtschaftlichkeitsberechnung der Anlagensysteme Berücksichtigung finden, werden sie bei der Modellierung den Anlagenbetriebskosten zugeschlagen. Die Vielzahl an Lieferanten wurde, abhängig von der Lage ihrer Hofstelle, zu acht Lieferantengruppen zusammengefasst, weil die Flächen der Lieferanten räumlich ineinander verzahnt sind und jährlich unterschiedliche Flächen zur Biomassebereitstellung genutzt werden würden.
- Wenn Strom eingespeist wird, müssen die Errichtungskosten des Trafos und der zugehörigen Leitungen vom Betreiber der Anlage getragen werden.

In Abbildung 2 sind die Lieferanten (A-T), die jeweiligen Lieferantengruppen (L1-L8) und die drei in Frage kommenden Anlagenstandorte (BGA1-3) eingezeichnet. Hinterlegt ist die Darstellung mit einem Kartenausschnitt von Bad Zell.

Der Erlös für den eingespeisten Strom wurden mit den Einspeisetarifen 2010 (§10, Ökostromverordnung 2010, ÖSVO 2010, ausgegeben am 02.Februar 2010) ermittelt. Diese betragen bis zu einer Kapazität von

= 20,5 ct/kWh und für

Die Tarifstruktur erklärt, warum kleinere BHKW-Kapazitäten aufgrund der höheren Vergütung bevorzugt zum Einsatz kommen, auch wenn die Investitionskosten für ein BHKW mit höherer Kapazität im Verhältnis geringer ist. Die Tarife für 2011 konnten nicht mehr berücksichtigt werden.

Betriebsergebnisrechnung

- den Betriebskosten (Versicherung, Wartung, Personalkosten),

- den Kosten für Substrate, Strom u.ä.
- den Transportkosten und
- den Wärmekosten für die Fermenterbeheizung.

Entfernungen:

In Tabelle 29 sind die Entfernung der Lieferantengruppen zu den jeweiligen Standorten aufgelistet. Die maximale Entfernung ist beispielsweise für Lieferant L2 nach Standort 2 mit 4,7 km gegeben, die geringste Entfernung hat Lieferant L1 zu Standort 3, da sich der potenzielle Anlagenstandort in unmittelbarer Nähe befindet.

Tabelle 29: Entfernung der Lieferantengruppen zu den drei dezentralen Standorten, an denen Fermenter betrieben werden können, in Kilometer (in Klammer die einzelnen Lieferanten)

	Entfernung zu Standort 1 [km]	Entfernung zu Standort 2 [km]	Entfernung zu Standort 3 [km]
L1 (A)	1,6	3,4	0
L2 (B, R)	3,3	4,7	4,0
L3 (C, D, L)	2,7	4,6	1,2
L4 (E, F, G)	1,9	1,4	3,3
L5 (H, I)	0,3	2,1	2,1
L6 (J, K)	1,5	2,9	3,0
L7 (M, N)	3,1	3,0	2,4
L8 (P, Q, S, T)	3,8	1,9	3,7

An den übrigen Standorten kann die Wärme nur für die Beheizung der Fermenter genutzt werden. Von diesen dezentralen Standorten kann der Wärmetransport mittels Nahwärme-Leitungen erfolgen. In der Struktur wird aber ebenfalls eine Möglichkeit angedacht, dass Biogas mittels Leitungsnetz zum zentralen Standort transportiert wird und eine Verstromung vor Ort bei den Wärmeabnehmern erfolgt. Sowohl für die Nahwärme- als auch für die Biogasleitungen wurden die anfallenden Kosten sowie Leitungsverluste berücksichtigt.

Tabelle 30 Entfernungen der drei dezentralen Standorte zum zentralen Standort, an dem ins Nahwärmenetz eingespeist werden kann

Angaben in km	Entfernung zum zentralen Standort	
Standort 1	1,1	
Standort 2	1,0	
Standort 3	2,4	
Standort 3	1,3	Standort 1 (ab Standort 1 können Wärme oder Biogas in einer gemeinsamen Leitung zum zentralen Standort befördert werden)

Substrate:

Trockensubstanzgehalte, Preise und Methanertrag der Substrate ist in Tabelle 31 aufgelistet. Die Substratkosten wurden von den Projektpartnern diskutiert und festgelegt. Unterschieden wird in minimale und maximale Substratkosten. Diese beiden Grenzen sind als Bandbreite zu sehen, innerhalb der die Kosten für etwaige Szenarienbildungen variabel sind.

Tabelle 31: Kenndaten der Substrate

	Gülle	Zwischenfrüchte	Gras	Mais
Trockensubstanzgehalt	9%	24%	30%	33%
Substratkosten [€/t TS] Minimum	5	50	50	65
Maximum	10	80	80	110
CH ₄ -Ertrag [m ³ / t TS]	200	300	300	340

Von den acht Lieferantengruppen werden die in Tabelle 32 dargestellten Güllemengen bereitgestellt. Die verfügbaren Mengen an Zwischenfrüchten, Wiesengrünschnitt und Maissilage sind in Tabelle 33 dargestellt. Bei den angegebenen Mengen handelt es sich jeweils um Maximalmengen in Trockenmasse pro Lieferantengruppe.

Tabelle 32: Rindergülmengen mit 9 % Trockensubstanzgehalt die von 8 Lieferantengruppen für die Biogas-erzeugung bereitgestellt werden können

Lieferantengruppe (Lieferanten)	Rindergülle mit 9% TS-gehalt	
	m ³ frisch	m ³ TS
L1 (A)	4511	405,9
L2 (B, R)	1100	99,0
L3 (C, D, L)	2089	188,1
L4 (E, F, G)	1867	168,3
L5 (H, I)	878	79,2
L6 (J, K)	1100	99,0
L7 (M, N)	1756	158,4
L8 (P, Q, S, T)	2200	198,0

Tabelle 33 verfügbare Mengen an Zwischenfrüchten (24% TS), Wiesengrünschnitt (30% TS), Silomais (33% TS)

Lieferanten- gruppe (Lieferanten)	Zwischen- früchte (24% TS)	Flächenbedarf bei TS-Ertrag von 2,8 t/ha	Wiesen- grünschnitt (30% TS)	Flächenbedarf bei TS-Ertrag von 12 t/ha	Silomais (33 % TS)	Flächenbedarf bei TS-Ertrag von 15 t/ha
	t TS	ha	t TS	ha	t TS	ha
L1 (A)	370	132	246	21	232	15
L2 (B, R)	90	32	60	5	57	4
L3 (C, D, L)	172	61	114	10	107	7
L4 (E, F, G)	154	55	102	9	96	6
L5 (H, I)	72	26	48	4	45	3
L6 (J, K)	90	32	60	5	57	4
L7 (M, N)	144	51	96	8	91	6
L8 (P, Q, S, T)	180	64	120	10	113	8
Summe	1271	453	846	72	798	53

Die freie Zusammenstellung einer Substratmischung durch die PNS ist nicht möglich, weil die verschiedenen Substrate unterschiedliche Fermentervolumen, Einbringungs- und Rührtechnik erfordern und damit variierende Investitionskosten zur Folge haben. Für die Optimierung wurde deshalb mit acht unterschiedlichen Substratbeschickungen der Fermenter gearbeitet, die in Tabelle 34 aufgelistet sind.

Tabelle 34: Substratmischung für die Fermenterbeschickung bezogen auf Frischmasse

in [%]	Gülle	Zwischenfrüchte	Wiesengrünschnitt	Maissilage
Mischung 1	30	-	-	70
Mischung 2	30	70	-	-
Mischung 3	50	50	-	-
Mischung 4	50	20	10	20
Mischung 5	75	-	-	25
Mischung 6	75	25	-	-
Mischung 7	75	15	10	-
Mischung 8	100	-	-	-

Eingangsdaten für Fermenter, Substratlagerung, BHKW

Für die Fermenter und BHKWs wurden vier Kapazitäten vom Projektteam festgelegt. Die BHKWs haben Kapazitäten von 80, 160, 250 und 500 kW_{el}. Die Fermenter wurden für sämtliche Substratkombinationen so dimensioniert, dass sie Methan bereitstellen, mit dem BHKWs der angegebenen Größen betrieben werden können. BHKWs und Fermenter können unmittelbar nebeneinander an den drei dezentralen Standorten errichtet werden. Sofern BHKWs am zentralen Standort betrieben werden sollen, ist eine räumliche Trennung mittels Nahwärme- oder Biogasleitung erforderlich. Fermenter und BHKWs können von der PNS frei kombiniert werden. Ein BHKW mit 500 KW am zentralen Standort könnte beispielsweise von 3 Fermentern mit 80, 160 und 250 KW an den Standorten 1, 2 und 3 mit Methan versorgt werden. Einzelne Eigenschaften der Fermenter sind von der Substratzusammensetzung unabhängig und für sämtliche BHKWs und Fermenter der gleichen Größenklasse identisch.

Der Großteil der Eigenschaften und Kosten der einzelnen Anlagenteile variiert mit der Substratzusammensetzung.

Es wurde mit einem Eigenstrombedarf von 6 % der elektrischen Leistung gerechnet. Die Kosten für den Trafo wurden mit 35.000 € angesetzt, wobei hier bereits die Kosten für die erforderlichen Leitungen berücksichtigt sind. Die produzierte Wärme kann zu einem Preis von 22,5 €/MWh verkauft werden. Es besteht auch die Möglichkeit, dass bei einem dezentralen BHKW die anfallende Wärme mittels Fernwärmeleitungen an den zentralen Standort gebracht werden kann. Die damit einhergehenden Leitungsverluste werden in so einem Fall berücksichtigt. Vom Netz bezogener Strom wird mit 15 ct/kWh verrechnet.

Für die Siloplatte wurden einheitlich Investitionskosten von 150.000 € angenommen, weil sie entsprechend der örtlichen Voraussetzungen (Untergrund, Relief,) stark variieren. Für die Betriebskosten zur Substratlagerung wurden 5.850 €/a angesetzt. Der Wert kann jedoch bei genauerer Kenntnis individuell angepasst werden, indem in der Betriebsergebnisrechnung die 150.000 € durch einen anderen Wert ersetzt werden.

Tabelle 35 Kennzahlen, die für Fermenter und BHKWs gleicher Größe einheitlich sind; Betriebskosten (inkl. Versicherung, Wartung, Personalkosten)

	80 kW _{el}	160 kW _{el}	250 kW _{el}	500 kW _{el}
Anlagenleistung elektrisch [kW _{el}]	80	160	250	500
Anlagenleistung thermisch [kW _{therm}]	105	230	300	560
Volllaststunden [h]	7.800	7.800	7.800	7.800
Erzeugte Strommenge [MWh]	624	1.248	1.950	3.900
Erzeugte Wärmemenge [MWh]	819	1.794	2.340	4.368
Strombedarf [MWh]	37,44	74,88	117,00	234,00
Investitionskosten BHKW [€]	110.000	200.000	250.000	430.000
Abschreibungsdauer [Jahre]	15	15	15	15
Betriebskosten Fermenter [€/a]	18.888	23.300	29.213	46.706
Betriebskosten BHKW [€/a]	27.138	33.098	37.778	51.346

Tabelle 36 Angaben zu Fermentern, Endlager und technischer Ausstattung, die je nach Substratzusammensetzung variieren (Mischungsverhältnis der Substrate bezieht sich auf die Frischmasse)

	Mischung 1: 30 % Gülle, 70 % Mais				Mischung 2: 30 % Gülle, 70 % Zwischenfrüchte			
	80 kW _{el}	160 kW _{el}	250 kW _{el}	500 kW _{el}	80 kW _{el}	160 kW _{el}	250 kW _{el}	500 kW _{el}
Volumen Fermenter [m³]	511	511	863	1.654	863	863	1.149	2.941
Verweilzeit Fermenter [Tage]	90	45	45	45	105	52	55	55
Volumen Nachfermenter [m³]	-	511	863	1.654	-	863	1.149	2.941
Verweilzeit Nachfermenter [Tage]	-	45	45	45	-	52	55	55
Wärmebedarf F/NF [MWh]	79,7	159,3	248,9	497,9	112,2	224,4	350,6	701,2
Behälterbau Fermenter/Nachf. [€]	47.000	90.000	120.000	180.000	60.000	120.000	135.000	250.000
Beschichtung (35€/m²) [€]	10.446	20.892	29.303	45.522	14.652	29.303	35.461	102.919
Isolation (35€/m²) [€]	10.446	23.586	29.303	45.522	14.652	29.303	35.461	102.919
Gasspeicher über F/NF [€]	30.000	60.000	70.000	85.000	35.000	70.000	70.000	140.000
Endlager inkl. Gasspeicher [€]	100.000	180.000	360.000	435.000	110.000	220.000	340.000	450.000
Technische Ausstattung [€]	177.000	215.000	215.000	430.000	177.000	215.000	235.000	470.000
Invest. ohne BHKW und Silo [€]	374.892	589.477	823.606	1.221.043	411.303	683.606	850.921	1.515.837
	Mischung 3: 50 % Gülle, 50 % Zwischenfrüchte				Mischung 4: 50 % Gülle, 20 % Mais, 10 % Gras, 20 % Zwischenfrüchte			
	80 kW _{el}	160 kW _{el}	250 kW _{el}	500 kW _{el}	80 kW _{el}	160 kW _{el}	250 kW _{el}	500 kW _{el}
Volumen Fermenter [m³]	1.001	1.001	1.654	3.451	863	863	1.149	2.471
Verweilzeit Fermenter [Tage]	100	50	55	55	109	55	50	50
Volumen Nachfermenter [m³]	-	1.001	1.654	3.451	-	863	1.149	2.471
Verweilzeit Nachfermenter [Tage]	-	50	55	55	-	55	50	50
Wärmebedarf F/NF [MWh]	134,6	269,3	420,7	841,4	108,5	216,9	338,9	677,8
Behälterbau Fermenter/Nachf. [€]	65.000	125.000	150.000	280.000	60.000	120.000	135.000	230.000
Beschichtung (35€/m²) [€]	16.163	32.327	45.522	154.378	14.652	29.303	35.461	90.713
Isolation (35€/m²) [€]	16.163	32.327	45.522	154.378	14.652	29.303	35.461	90.713
Gasspeicher über F/NF [€]	35.000	70.000	80.000	170.000	35.000	70.000	70.000	120.000
Endlager inkl. Gasspeicher [€]	140.000	280.000	435.000	480.000	110.000	220.000	340.000	450.000
Technische Ausstattung [€]	186.000	250.000	255.000	510.000	177.000	215.000	235.000	470.000
Invest. ohne BHKW und Silo [€]	458.327	789.654	1.011.043	1.748.756	411.303	683.606	850.921	1.451.427

Abbildung 14 Angaben zu Fermentern, Endlager und technischer Ausstattung, die je nach Substratzusammensetzung variieren (Mischungsverhältnis der Substrate bezieht sich auf die Frischmasse) Teil 2

	Mischung 5: 75 % Gülle, 25 % Mais				Mischung 6: 75 % Gülle, 25 % Zwischenfrüchte			
	80 kW _{el}	160 kW _{el}	250 kW _{el}	500 kW _{el}	80 kW _{el}	160 kW _{el}	250 kW _{el}	500 kW _{el}
Volumen Fermenter [m³]	1.001	1.001	1.654	3.451	1.307	1.307	1.654	4.002
Verweilzeit Fermenter [Tage]	90	45	45	45	90	45	45	45
Volumen Nachfermenter [m³]	-	1.001	1.654	3.451	-	1.307	1.654	4.002
Verweilzeit Nachfermenter [Tage]	-	45	45	45	-	45	45	45
Wärmebedarf F/NF [MWh]	158,6	317,1	495,5	991,0	194,5	388,9	607,7	1.215,4
Behälterbau Fermenter/Nachf. [€]	65.000	125.000	150.000	280.000	70.000	135.000	180.000	330.000
Beschichtung (35€/m²) [€]	16.163	32.327	45.522	154.378	19.352	38.704	45.522	172.411
Isolation (35€/m²) [€]	16.163	32.327	45.522	154.378	19.352	38.704	45.522	172.411
Gasspeicher über F/NF [€]	35.000	70.000	80.000	170.000	35.000	70.000	85.000	200.000
Endlager inkl. Gasspeicher [€]	140.000	280.000	435.000	500.000	140.000	280.000	435.000	530.000
Technische Ausstattung [€]	186.000	250.000	255.000	510.000	177.000	218.000	240.000	480.000
Invest. ohne BHKW und Silo [€]	458.327	789.654	1.011.043	1.768.756	460.704	780.409	1.031.043	1.884.821
	Mischung 7: 75 % Gülle, 10 % Gras, 15 % Zwischenfrüchte				Mischung 8: 100 % Gülle			
	80 kW _{el}	160 kW _{el}	250 kW _{el}	500 kW _{el}	80 kW _{el}	160 kW _{el}	250 kW _{el}	500 kW _{el}
Volumen Fermenter [m³]	1.307	1.307	2.042	3.451	1.475	1.475	2.042	4.293
Verweilzeit Fermenter [Tage]	98	50	40	40	50	50	25	25
Volumen Nachfermenter [m³]	-	1.307	2.042	3.451	-	1.475	2.042	4.293
Verweilzeit Nachfermenter [Tage]	-	50	40	40	-	50	25	25
Wärmebedarf F/NF [MWh]	182,0	364,0	568,7	1.137,3	368,6	737,1	1.151,7	2.303,4
Behälterbau Fermenter/Nachf. [€]	70.000	135.000	180.000	280.000	75.000	145.000	180.000	360.000
Beschichtung (35€/m²) [€]	19.352	38.704	52.779	154.378	21.029	42.058	52.779	181.757
Isolation (35€/m²) [€]	19.352	38.704	52.779	154.378	21.029	64.489	52.779	181.757
Gasspeicher über F/NF [€]	35.000	70.000	85.000	170.000	35.000	70.000	85.000	220.000
Endlager inkl. Gasspeicher [€]	145.000	290.000	450.000	530.000	170.000	340.000	530.000	850.000
Technische Ausstattung [€]	186.000	250.000	255.000	510.000	194.000	320.000	405.000	810.000
Invest. ohne BHKW und Silo [€]	474.704	822.409	1.075.558	1.798.756	516.058	981.547	1.305.558	2.603.514

Transportkosten Biomasse

Die Transportkosten setzen sich aus einem Fixkostenanteil für Be- und Entladung sowie aus einem variablen, entfernungsabhängigem Anteil zusammen. In den variablen Kosten sind jeweils auch die Kosten für die Leer- bzw. Rückfahrt enthalten. Mit den Werten aus Tabelle 37 wurden für die PNS die spezifischen Kosten für jedes Substrat pro Tonne und Lieferantengruppe ermittelt.

Tabelle 37: Biomasetransportkosten

	Fixkosten		variable Kosten	
	[€/t]	[€/t TS]	[€/(t*km)]	[€/(t TS*km)]
Maissilage	2,0	6,06	0,49	1,48
Zwischenfrüchte		8,33		2,04
Wiesengrünschnitt		6,67		1,63
Gülle Straße	1,0	20	0,25	5

Der Fixkostenanteil wurde dabei mit 2 €/t Frischmasse angenommen und mittels den TS-Gehalten aus Tabelle 31 umgerechnet. Gleichmaßen erfolgte die Umrechnung für die variablen Kosten, welche jedoch mit 0,49 €/km angenommen wurden. Für Gülle beträgt der Fixkostenanteil 1 €/m³ Rohgülle und der variable Anteil wurde mit 0,25 €/m³ angenommen. Bei dieser Kostenaufteilung übersteigen die variablen Kostenanteile die Fixkosten für das Beladen und Entladen erst bei Entfernungen von mehr als 4 km. Die Transportkosten verdoppeln sich erst, wenn die Substrate statt einem sechs Kilometer transportiert werden. Der Gülletransport in Leitungen, die fix im Boden verlegt werden, oder Verschlauchungssystemen, bei denen die Schläuche temporär oberirdisch verlegt werden, wurde ebenfalls diskutiert. Fix verlegte Rohre kommen für Rindergülle mit Trockensubstanzgehalten über 7 – 8 % nur für kürzere Strecken in Frage, weil Rindergülle wegen ihrer hohen Viskosität nur mehr eingeschränkt pumpfähig ist. Bei Verschlauchungssystemen ist die Verstopfungsgefahr geringer und sie könnten sowohl für die Gülleausbringung als auch den Transport über Entfernungen von ca. 5 km genutzt werden. Bei der Ausbringung betragen die Kosten inkl. Traktor u. Bedienung mit Verschlauchungssystem laut Angaben des Maschinenrings Oststeiermark ca. 2,3 € / m³ Gülle (Zum Vergleich mit 8 m³ Güllefass 3,6 € / m³ und mit 15 m³ Güllefass 3,3 € / m³). Der Einsatz der Gülleverschlauchung ist jedoch in der Regel erst bei Transport- oder Ausbringungsmengen von ca. 200 m³ je Transport- oder Ausbringungsvorgang sinnvoll. Da Gülle möglichst unmittelbar nach dem Verlassen des Stalles vergoren werden sollte, um die Methanausgasung so gering wie möglich zu halten, kommt eine Verschlauchung nur für Betriebe mit größeren Tierzahlen in Frage. Aus den angeführten Gründen wurden diese Möglichkeiten für die PNS-Optimierung daher nicht berücksichtigt.

Biogas- und Wärmeleitungen

Tabelle 38: Investitionskosten für Biogasleitung, Kühlung und Verdichtung netto ohne UST

Entfernung	Durchmesser Gasleitung DN	Preis Gasleitung	Muffen bei Ringbundware	Materialkosten Leitung inklusive Muffen	Verlegung inkl. Planung	< 2km nur Verdichter, > 2km Gasentwässerung + Verdichtung + Aktivkohle- filter	Stromverbrauch (nicht in der PNS berücksich- tigt)
km		€/m	€/m	€/m	€/m	€	kW
<2	90	5,6	0,5	6,1	16	20.000	< 4
>2	90	5,6	0,5	6,1	16	60.000	< 4

Da die Errichtung von Fermentern am zentralen Standort, an dem in das Nahwärmenetz eingespeist werden kann, nicht möglich ist, ist zumindest für die Entfernungen zu den Standorten eins oder zwei eine Nahwärme- oder Biogasleitung zu errichten.

Den angegebenen Zahlen für die Biogasleitung liegt zu Grunde, dass das Gas zuerst gekühlt und dann auf 300-500 mbar verdichtet wird. Zwischen dem zentralen BHKW-Standort und

den Fermenterstandorten 1 und 2 könnte jeweils auf eine Gasentwässerung verzichtet werden, weil ein eindeutiges, durchgehendes Gefälle zum Fermenter und/oder BHKW realisiert werden kann. Der Kondenswasseranfall würde im Winter bei 100 m³ Biogas/h ca. 3 l/h oder 75 l/d betragen. Die Kosten für Verdichter würden bei 10.000 – 15.000 € liegen. Die Steuerung könnte zentral vom BHKW erfolgen. In den Baukosten für die Gasleitung ist eine Sicherheitsreserve von 2 Euro pro Laufmeter eingeplant, weil die Untergrundbeschaffenheit nicht bekannt ist.

Der Bau und Betrieb von Wärmeleitungen ist deutlich aufwendiger, als der von Gasleitungen, hat jedoch den Vorteil, das mit der BHKW-Abwärme der Fermenter beheizt werden kann. Von der eingespeisten thermischen Energie gehen jedoch pro km ca. 105 MWh an Energie verloren. Der Strombedarf für den Betrieb entspricht ca. 0,5 % der eingespeisten Wärmemenge.

Tabelle 39: Investitionskosten für Nahwärmeleitung, netto ohne UST

Entfernung	Durchmesser Nahwärmeleitung	Baukosten Nahwärmeleitung	Wärmeverluste	Strombedarf pro KWh _{therm} eingeleitet
m		€/m	kWh/lfm	%
0 - 3.500	DN 65	300	105	0,5

Hackgutfeuerung

Die Wärmebereitstellung für die Beheizung der Fermenter kann sowohl durch ein am Standort aufgestelltes BHKW als auch durch eine separate Hackgutfeuerung erfolgen. Die eventuell erforderliche Feuerung, um die Fermenterwärme bereit zu stellen, ist nicht als eigene Technologie mit den entsprechenden Investitions- und jährlichen Betriebskosten in der Maximalstruktur eingebunden, sondern es wird mit einem Gesamtpreis je kWh Wärme gerechnet. Dieser ergibt sich aus Investitions- und Betriebskosten und beträgt 5 ct/kWh (Wagner R., 2008). Die Wärmeversorgung wäre über einen vom Maschinenring betriebenen Hackgutfeuerungscontainer möglich. Da der Wärmepreis aus der Literatur stammt, wird auch dieser Preis als variabel angesehen, um bei Bedarf eine Preiselastizität abbilden zu können. Für die PNS wurden Kosten von 5 ct/kWh für die Fermenterbeheizung angesetzt.

3.8.2 Maximalstruktur

In Abbildung 15 ist die Maximalstruktur der untersuchten Modellregion dargestellt. Als Rohstoffe können Zwischenfrüchte, Gülle, Wiesengrünschnitt sowie Maissilage zum Einsatz kommen, wobei diese von unterschiedlichen Lieferanten mit entsprechenden Entfernungen und sich daraus ergebenden Transportkosten zur Verfügung gestellt werden. Die Substratkosten sind bei allen Lieferanten gleich angesetzt, einzig durch die Transportkosten ändern sich die Gesamtkosten für die Substrate inputseitig. Dadurch ist es möglich jene Standorte zu ermitteln, die aufgrund ihrer geografischen Lage eine optimale Transportsituation schaffen, was auch aus ökologischen Überlegungen anzustreben ist. Insgesamt gibt es vier potenzielle Standorte, davon ist einer zentral am Ortsrand von Bad Zell gelegen. An diesem

Tabelle 40: Anlagenkonfiguration und Investitionskosten des Netzwerks mit 2 Fermenter am Standort 1

Anlagenkomponente	Substrat-Mischung	Standort	Leistung kW _{el} /kW _{th}	Auslastung % und h/a	Investitions- kosten [€]
Fermenter	4	1	250	100 / 7.800	850.921
	7	1	250	96 / 7.485	1.075.558
BHKW	-	1	80 / 105	100 / 7.800	110.000
	-	zentral	160 / 230	100 / 7.800	200.000
	-	zentral	250 / 300	100 / 7.800	250.000
Trafoanschluss		zentral			35.000
Biogasleitung, Kühlung, etc.		1 nach zentral			44.310
Siloplatte		1			150.000
Summen			490 + 635 = 1,13 MW		2.715.789

Tabelle 41: Betriebsergebnisrechnung des Netzwerks mit 2 Fermenter am Standort 1

	max. Sub- stratkosten €/a	min. Substrat- kosten €/a	Durchschnitt €/a
Stromerlös (€ 205 * 3.822 MWh)	783.510	783.510	783.510
Wärmeerlös (€ 22,5 * 4.134 MWh)	93.015	93.015	93.015
Summe Erlöse	876.525	876.525	876.525
Betriebskosten Fermenterheizung Standort 1	3.325	3.280	3.325
Betriebskosten Fermenter Standort 1	58.426	58.426	58.426
Betriebskosten BHKW 80 kW _{el} Standort 1	27.138	27.138	27.138
Betriebskosten BHKW 160 kW _{el} zentral	33.098	33.098	33.098
Betriebskosten BHKW 250 kW _{el} zentral	37.778	37.778	37.778
Betriebskosten Siloplatte	5.850	5.850	5.850
Substratkosten	213.209	129.358	171.284
Transportkosten	68.127	68.043	68.085
Stromkosten	34.432	34.432	34.432
Summe Betriebskosten	481.383	397.402	439.393
Betriebsergebnis vor AfA	395.142	479.123	437.133
AfA auf 15 Jahre (ohne Zinsen)	181.053	181.053	181.053
Betriebsergebnis nach AfA (ohne Zinsen)	214.089	298.070	256.080

In Tabelle 42 sind die Lieferantengruppen mit den jeweiligen Substratmengen pro Jahr aufgelistet.

Tabelle 42: Optimalstruktur Variante 1, Substrate und deren Lieferanten

	verwendet = verfügbar		verwendet < verfügbar		nicht verwendet			
Lieferantengruppe	Gülle		Zwischenfrüchte		Wiesengrünschnitt		Maissilage	
verfügbar = F verwendet = W	F	W	F	W	F	W	F	W
1 (A)	406	406	370	370	246	246	232	232
2 (B, R)	99	99	90	0	60	60	57	0
3 (C, D, L)	188	188	172	172	114	114	107	107
4 (E, F, G)	168	168	154	154	102	102	96	96
5 (H, I)	79	79	72	72	48	48	45	45
6 (J, K)	99	99	90	90	60	60	57	57
7 (M, N)	158	158	144	144	96	96	91	91
8 (P, Q, S, T)	198	198	180	0	120	0	113	0

Als Produkte werden Strom und Wärme generiert, wobei ~3.820 MWh/a Strom zu einem Tarif von 205 €/MWh ins Netz eingespeist werden und rund 4.130 MWh/a zu einem Preis von 22,5 €/MWh an die Nahwärmeversorgung abgegeben wird. Wenn die Maximalstruktur mit minimalen Substratkosten mit der PNS optimiert wird, ergibt sich die gleiche Anlagenstruktur, es erhöht sich jedoch das jährliche Betriebsergebnis wegen der reduzierten Substratkosten. Diese sinken von ca. 213.210 €/a auf rund 129.360 €/a. Daraus ergibt sich ein Betriebsergebnis nach AFA (ohne Berücksichtigung der Verzinsung des Kapitals) von ca. 298.130 €/a.

Ergänzende Diskussion der Ausgangsstruktur

Da das BHKW am Standort 3 etwas zu klein dimensioniert ist, um die gesamte benötigte Wärmemenge für die Beheizung bereitstellen zu können, die PNS aber insofern starr ist und nur fix vorgegebenen BHKW Kapazität von 80 kW_{el} auswählen kann, wird eine zusätzliche Hackgutfeuerung für insgesamt rund 70 MWh/a benötigt. Hier könnte es sein, dass bei einem BHKW mit höherer Kapazität (jedoch kleiner als 160 kW_{el}) die Hackgutfeuerung eingespart werden könnte und sich dadurch die Kosten geringfügig verringern und der Erlös nicht nur durch die erhöhte Stromeinspeisung ansteigen würde. Bei den Gesamtinvestitionskosten sind keine Kosten für die Hackgutfeuerung enthalten, da hier mit Vollkosten gerechnet wird.

3.8.4 Optimalstruktur

Da die PNS im ersten Rechengang zwei Fermentersysteme mit unabhängiger Rohstoffkette am Standort 1 als optimale Struktur ermittelt hatte, wurde die Einschränkung eingeführt, dass nur *eine* Substratbeschickungsart für die Fermenter pro Standort zulässig ist. Mit dieser Bedingung ergab sich ein optimales Technologienetzwerk, bei dem am Standort 1 ein Fermentersystem mit 7.800 Betriebsstunden bzw. voller Auslastung und der Substratbeschickung 4 betrieben wird. Dieser Fermenter ist auf ein BHKW der Kapazität von 250 kW_{el} ausgelegt. Am Standort 3 ist ein Fermenter gleicher Kapazität vorgesehen, jedoch mit Substratmi-

schung 7 und mit nur 96% Auslastung betrieben. Die benötigte Fermenterwärme wird an beiden Standorten mittels Hackgutfeuerung bereitgestellt. Am zentralen Standort befinden sich zwei 250 kW_{el} BHKWs, die über Biogasleitungen von Standort 3 und Standort 1 mit Biogas versorgt werden. Für die Biogasleitung von Standort 1 nach zentral entfallen hierbei die Leitungskosten, weil die Leitung in diesem Fall die gleiche Streckenführung hat, wie jene, die für den Standort 3 verlegt werden muss. Es ist lediglich ein Verdichter zur Einspeisung in die Leitung erforderlich.

Mit dieser Optimalstruktur wird ein jährliches Betriebsergebnis nach AfA (ohne Berücksichtigung der Verzinsung des Kapitals) von 196.350 € erzielt. Im Vergleich zum Ergebnis der Ausgangsstruktur, mit beiden Fermentersystemen am Standort 1, stellt dies lediglich eine jährliche Reduktion von 17.740 €, das entspricht ca. 8%.

Tabelle 43 und Tabelle 9 beinhalten die Anlagenkonfiguration sowie die Betriebsergebnisrechnung für das optimale Technologiernetzwerk.

Tabelle 43: Anlagenkonfiguration und Investitionskosten des optimalen Netzwerks

Anlagenkomponente	Substrat-Mischung	Standort	Leistung kW _{el} /kW _{th}	Auslastung % und h/a	Investitionskosten [€]
Fermenter	4	1	250	100 / 7.800	850.921
	7	3	250	96 / 7.485	1.075.558
BHKW	-	zentral	250 / 300	100 / 7.800	250.000
	-	zentral	250 / 300	96 / 7.485	250.000
Trafoanschluss		zentral			35.000
Biogasleitung, Kühlung, Verdichter		3 - zentral			113.040
Gasverdichter		1			20.000
Siloplatte		1			150.000
		3			150.000
Summen			500/600 = 1,1 MW		2.894.519

Tabelle 44: Betriebsergebnisrechnung des optimalen Netzwerks bei unterschiedlichen Substratkosten

	Betriebsergebnis in € pro Jahr bei		
	max. Substratkosten	min. Substratk.	Durchschnitt
Stromerlös (€ 205 * 3.826MWh)	784.281	784.281	784.281
Wärmeerlös (€ 22,5 * 4.591 MWh)	103.296	103.296	103.296
Summe Erlöse	887.576	887.576	887.576
Betriebskosten Fermenterheizung Standort 1	16.946	16.946	16.946
Betriebskosten Fermenter Standort 1	29.213	29.213	29.213
Betriebskosten Fermenterheizung Standort 3	27.351	27.351	27.351
Betriebskosten Fermenter Standort 3	29.213	29.213	29.213
Betriebskosten BHKW 2x 250 kW _{el} zentral	75.556	75.556	75.556
Betriebskosten Siloplatten 2x	11.700	11.700	11.700
Substratkosten	213.561	129.488	171.525
Transportkosten	60.286	60.286	60.286
Stromkosten	34.432	34.432	34.432
Summe Betriebskosten	498.258	414.185	456.221
Betriebsergebnis vor AfA	389.319	473.392	431.355
AfA auf 15 Jahre (ohne Zinsen)	192.968	192.968	192.968
Betriebsergebnis nach AfA (ohne Zinsen)	196.351	280.424	238.387

Die Lieferanten und erforderlichen Substratmengen sind in Tabelle 45 enthalten.

Tabelle 45: Optimalstruktur, Substrate und deren Lieferanten

	verwendet = verfügbar		verwendet < verfügbar		nicht verwendet			
Lieferantengruppe	Gülle		Zwischenfrüchte		Wiesengrünschnitt		Maissilage	
verfügbar = F; verwendet = W	F	W	F	W	F	W	F	W
1 (A)	406	406	370	370	246	246	232	232
2 (B, R)	99	99	90	0	60	45	57	0
3 (C, D, L)	188	188	172	172	114	114	107	107
4 (E, F, G)	168	168	154	154	102	102	96	96
5 (H, I)	79	79	72	72	48	48	45	45
6 (J, K)	99	99	90	90	60	60	57	57
7 (M, N)	158	158	144	106	96	96	91	62
8 (P, Q, S, T)	198	198	180	0	120	0	113	0

Für die Optimierung wurde ein Abschreibungszeitraum von 15 Jahren angesetzt. Die gesamt zu tätigen Investitionskosten liegen bei 2.894.520 € (inkl. Investition für den Trafo jedoch ohne direkte Investition für die Hackgutfeuerung zur Fermenterbeheizung). Mit dieser Struktur ergeben sich jährliche Kosten für Substrate, Strom, etc. von rund 437.970 € und Transportkosten von ca. 60.290 €/a. Als Produkte werden Strom und Wärme generiert, wobei ~3.830 MWh/a Strom ins Netz eingespeist werden können und rund 4.590 MWh/a Nahwärme (22,5 €/ MWh) zur Verfügung stehen.

Wenn die Berechnung mit minimalen Substratkosten durchgeführt wird, ergibt sich die gleiche Optimalstruktur, es erhöht sich jedoch das jährliche Betriebsergebnis entsprechend der reduzierten Substratkosten. Diese sinken von ca. 213.560 €/a auf rund 129.490 €/a. Daraus ergibt sich ein Betriebsergebnis nach AFA (ohne Berücksichtigung der Verzinsung des Kapitals) von ca. 280.420 €/a.

3.8.5 Biogas ohne Mais und Erhöhung der Zwischenfruchtmenge

Um das Potenzial der Zwischenfrüchte darzustellen, ist in dieser Variante kein Mais verfügbar. Damit jedoch die Vergleichbarkeit zu den beiden anderen Varianten gegeben ist, wurde zur Kompensation des CH₄-Ertrags eine entsprechende Menge an Zwischenfrüchten bereitgestellt.

$$798 \text{ t TS Mais} \times 340 \text{ m}^3 \text{ CH}_4 / \text{t TS Mais} = 271.320 \text{ m}^3 \text{ CH}_4$$

daher: $300 \text{ m}^3 \text{ CH}_4 / \text{t TS Zwischenfrüchte} = 271.320 / 300 = 904 \text{ t TS Zwischenfrüchte}$

Dies entspricht einer Erhöhung der Zwischenfruchtmenge von gesamt 1.270 t auf rund 2.170 Tonnen pro Jahr. Für die Bereitstellung dieser Menge würden bei einem durchschnittlichen Ertrag von 2,8 t TS / ha ca. 800 ha Ackerflächen benötigt werden. Durch diese Erhöhung des Flächenbedarfs um ca. 320 ha werden jedoch ca. 50 ha für die Erzeugung von Nahrungsmitteln frei. Die Verteilung der zusätzlichen Zwischenfruchtmenge erfolgt im gleichen Verhältnis wie in der Ausgangssituation. Dies ergibt folgende Liefermenge an Zwischenfrüchten für die jeweiligen Lieferantengruppen:

Tabelle 46: Zwischenfruchtmengen zusätzlich errechnet aus Maismenge und deren Verteilung

	1 (A)	2 (B, R)	3 (C, D, L)	4 (E, F, G)	5 (H, I)	6 (J, K)	7 (M, N)	8 (P, Q, S, T)
t TS / a ursprünglich	370	90	172	154	72	90	144	180
t TS / a, zusätzlich	263	64	122	109	51	64	102	128
t TS / a, gesamt	633	154	294	263	123	154	246	308

Ohne Mais reduziert sich die Maximalstruktur, da nur noch fünf unterschiedliche Fermentertypen in Frage kommen (jene Fermenter, die ohne Maissilage arbeiten). Diese sind in Tabelle 47 aufgelistet.

Tabelle 47: Substratmischung für Fermenterbeschickung bezogen auf Frischmasse ohne Mais

in [%]	Gülle	Zwischenfrüchte	Gras
Mischung 2	30	70	-
Mischung 3	50	50	-
Mischung 6	75	25	-
Mischung 7	75	15	10
Mischung 8	100	-	-

Bei der PNS-Optimierung ergibt sich ein Netzwerk, das mit zwei unterschiedlichen Fermenterbeschickungen auf zwei Standorten arbeitet. Ein Fermenter, der mit 100% Auslastung, also mit 7.800 Stunden im Jahr betrieben wird, befindet sich auf Standort 3 und arbeitet mit Mischung 7. Ein zweiter Fermenter, auf Standort 1, ist ebenfalls mit 100 % Auslastung bzw. 7.800 Stunden pro Jahr in Betrieb und wird mit Substratmischung 2 beschickt.

Tabelle 48 und Tabelle 49 beinhalten die Anlagenkonfiguration sowie die Betriebsergebnisrechnung für das Technologienetzwerk ohne Einsatz von Maissilage.

Tabelle 48: Anlagenkonfiguration und Investitionskosten des Netzwerks ohne Mais

Anlagenkomponente	Substrat-Mischung	Standort	Leistung kW _e /kW _{th}	Auslastung % und h/a	Investitionskosten [€]
Fermenter	2	1	250	100 / 7.800	850.921
	7	3	250	100 / 7.800	1.075.558
BHKW	-	zentral	250 / 300	100 / 7.800	250.000
	-	zentral	250 / 300	96 / 7.485	250.000
Trafoanschluss		zentral			35.000
Biogasleitung, Kühlung, Verdichter		3 - zentral			113.040
Gasverdichter		1			20.000
Siloplatte		1			150.000
		3			150.000
Summen			500/600 = 1,1 MW		2.894.519

Tabelle 49: Betriebsergebnisrechnung des Netzwerks ohne Mais bei unterschiedlichen Substratkosten

	Betriebsergebnis in € pro Jahr bei		
	max. Substratkosten	min. Substratk.	Durchschnitt
Stromerlös (€ 205 * 3.900 MWh)	799.500	799.500	799.500
Wärmeerlös (€ 22,5 * 4.680 MWh)	105.300	105.300	105.300
Summe Erlöse	904.800	904.800	904.800
Betriebskosten Fermenterheizung Standort 1	17.530	17.530	17.530
Betriebskosten Fermenter Standort 1	29.213	29.213	29.213
Betriebskosten Fermenterheizung Standort 3	28.434	28.434	28.434
Betriebskosten Fermenter Standort 3	29.213	29.213	29.213
Betriebskosten BHKW 250 kWel zentral 2x	75.556	75.556	75.556
Betriebskosten Siloplaten 2x	11.700	11.700	11.700
Substratkosten	213.400	131.740	172.570
Transportkosten	64.121	64.121	64.121
Stromkosten	35.100	35.100	35.100
Summe Betriebskosten	504.267	422.607	463.437
Betriebsergebnis vor AfA	400.534	482.194	441.364
AfA auf 15 Jahre (ohne Zinsen)	192.968	192.968	192.968
Betriebsergebnis nach AfA (ohne Zinsen)	207.566	289.226	248.396

Die Lieferanten und erforderlichen Substratmengen sind in Tabelle 50 enthalten.

Tabelle 50: Optimales Netzwerk ohne Maissilage, Substrate und deren Lieferanten

	verwendet = verfügbar		verwendet < verfügbar		nicht verwendet	
Lieferantengruppe	Gülle		Zwischenfrüchte		Wiesengrünschnitt	
verfügbar = F verwendet = W	F	W	F	W	F	W
1 (A)	406	406	633	633	246	246
2 (B, R)	99	11	154	154	60	0
3 (C, D, L)	188	188	294	294	114	114
4 (E, F, G)	168	168	263	263	102	0
5 (H, I)	79	79	123	123	48	48
6 (J, K)	99	99	154	154	60	0
7 (M, N)	158	158	246	246	96	48
8 (P, Q, S, T)	198	198	308	181	120	0

Als Produkte werden Strom und Wärme generiert, wobei ~ 3.900 MWh/a Strom ins Netz eingespeist werden können und rund 4.680 MWh/a Nahwärme (22,5 €/ MWh) zur Verfügung stehen.

Wenn die Berechnung mit minimalen Substratkosten durchgeführt wird, ergibt sich die gleiche Optimalstruktur, es erhöht sich jedoch das jährliche Betriebsergebnis entsprechend der reduzierten Substratkosten. Diese sinken von ca. 213.400 €/a auf rund 131.740 €/a. Daraus ergibt sich ein Betriebsergebnis (ohne Berücksichtigung der Verzinsung des Kapitals) von ca. 289.200 €/a nach AfA.

3.8.6 Struktur mit nur einem 500 kW_{el} BHKW am zentralen Standort

Zur Ermittlung der wirtschaftlichen Konsequenzen der Errichtung von nur einem BHKW an einem Standort, wurde der PNS diese Einschränkung vorgegeben. Der Betrieb eines 500 kW_{el} BHKWs würde derzeit wahrscheinlich mit einer verringerten Einspeisevergütung (- 2 ct / kWh) für den produzierten Strom einhergehen. Deshalb sinkt das jährliche Betriebsergebnis, wenn am zentralen Standort statt zwei 250 kW_{el} BHKWs nur ein 500 kW_{el} BHKW zur Verfügung steht im Vergleich zur Optimalstruktur um fast 25 % auf rund 148.700 €/a. Die Struktur selbst bleibt gleich, jedoch sinkt der Erlös aus dem Stromverkauf erheblich und wird auch durch niedrigere Investition- und Betriebskosten nicht wettgemacht.

Tabelle 51 und Tabelle 52 beinhalten die Anlagenkonfiguration sowie die Betriebsergebnisrechnung für das Technologienetzwerk, das mit einem zentralen 500 kW_{el} BHKW arbeitet.

Tabelle 51: Anlagenkonfiguration und Investitionskosten mit zentralem 500 kW_{el} BHKW

Anlagenkomponente	Substrat-Mischung	Standort	Leistung kW _{el} /kW _{th}	Auslastung % und h/a	Investitionskosten [€]
Fermenter	4	1	250	100 / 7.800	850.921
	7	3	250	96 / 7.485	1.075.558
BHKW	-	zentral	500 / 560	98 / 7.644	250.000
Trafoanschluss		zentral			35.000
Biogasleitung, Kühlung, Verdichter		3 - zentral			113.040
Gasverdichter		1			20.000
Siloplatte		1			150.000
		3			150.000
Summen			500/600 = 1,1 MW		2.824.519

Tabelle 52: Betriebsergebnisrechnung mit zentralem 500 kW_{el} BHKW, mit Einspeisetarif von 18,5 Cent/kWh

	Betriebsergebnis in € pro Jahr bei		
	max. Substratkosten	min. Substratk.	Durchschnitt
Stromerlös (€ 185 * 3.825,76 MWh)	707.766	707.766	707.766
Wärmeerlös (€ 22,5 * 4.590,91 MWh)	103.296	103.296	103.296
Summe Erlöse	811.062	811.062	811.062
Betriebskosten Fermenterheizung Standort 1	16.945,5	16.945,5	16.945,5
Betriebskosten Fermenter Standort 1	29.213	29.213	29.213
Betriebskosten Fermenterheizung Standort 3	27.351	27.351	27.351
Betriebskosten Fermenter Standort 3	29.213	29.213	29.213
Betriebskosten BHKW 500 kW _{el} zentral	51.346	51.346	51.346
Betriebskosten Siloplatte 2x	11.700	11.700	11.700
Substratkosten	213.561	129.488	171.525
Transportkosten	60.286	60.286	60.286
Stromkosten	34.432	34.432	34.432
Summe Betriebskosten	474.048	389.975	432.011
Betriebsergebnis vor AfA	337.015	421.088	379.051
AfA auf 15 Jahre (ohne Zinsen)	188.301	188.301	188.301
Betriebsergebnis nach AfA (ohne Zinsen)	148.714	232.787	190.750

Die Lieferanten und erforderlichen Substratmengen sind mit jener in der optimalen Struktur identisch (siehe **Tabelle 45**).

Würde bei dieser Anlagenstruktur trotz größerem BHKW der eingespeiste Strom mit dem Tarif für kleinere Anlagen unter 250 kW_{el} vergütet werden, weil er sich an der Kapazität der Fermentersysteme und der Verringerung des Transportaufkommens orientiert, würde diese Anlagenstruktur mit einem Ergebnis von 225.228 € am besten abschneiden und nicht nur die Optimalstruktur sondern sogar die Ausgangsstruktur deutlich übertreffen.

Tabelle 53 Betriebsergebnisrechnung mit zentralem 500 kW_{el} BHKW, mit Einspeisetarif von 20,5 Cent/kWh

	Betriebsergebnis in € pro Jahr bei		
	max. Substratkosten	min. Substratk.	Durchschnitt
Stromerlös (€ 185 * 3.825,76 MWh)	784.281	784.281	784.281
Wärmeerlös (€ 22,5 * 4.590,91 MWh)	103.296	103.296	103.296
Summe Erlöse	887.577	887.577	887.577
Betriebskosten Fermenterheizung Standort 1	16.945	16.945	16.945
Betriebskosten Fermenter Standort 1	29.213	29.213	29.213
Betriebskosten Fermenterheizung Standort 3	27.351	27.351	27.351
Betriebskosten Fermenter Standort 3	29.213	29.213	29.213
Betriebskosten BHKW 500 kW _{el} zentral	51.346	51.346	51.346
Betriebskosten Siloplaten 2x	11.700	11.700	11.700
Substratkosten	213.561	129.488	171.525
Transportkosten	60.286	60.286	60.286
Stromkosten	34.432	34.432	34.432
Summe Betriebskosten	474.048	389.975	432.011
Betriebsergebnis vor AfA	413.529	497.602	455.566
AfA auf 15 Jahre (ohne Zinsen)	188.301	188.301	188.301
Betriebsergebnis nach AfA (ohne Zinsen)	225.228	309.301	267.265

3.8.7 Vergleichsszenario

Um die Vergleichbarkeit der Ergebnisse mit der derzeit üblichen Praxis zu erleichtern, wurde auch ein Szenario gerechnet, bei dem die Substratzusammensetzung auf 30% Gülle und 70 % Mais (Fermentersystem 1) festgelegt wurde. Zusätzlich wurden als Anlagenstruktur Fermenter und BHKW mit je 500 kW am Standort 1 vorgegeben. Zur Nutzung der Abwärme wurde eine Nahwärmeleitung zur Zentrale von 1,1 km vorgesehen.

Tabelle 54 Referenzszenario mit 30% Gülle, 70 % Mais und nur einem Fermentersystem und BHKW mit je 500 kW am Standort 1 sowie Nahwärmeleitung zur Zentrale

Anlagenkomponente	Substrat-Mischung	Standort	Leistung kW _{el} /kW _{th}	Auslastung % und h/a	Investitionskosten [€]
Fermenter	4	1	500	98 / 7.644	1.221.043
BHKW	-	zentral	500 / 560	98 / 7.644	430.000
Trafoanschluss		zentral			35.000
Nahwärmeleitung		1			330.000
Siloplatte		1			150.000
Summen			500/560 = 1,06 MW		2.166.043

Tabelle 55 Betriebsergebnisrechnung des Referenzszenarios (30% Gülle, 70 % Mais; nur ein Fermentersystem und BHKW mit je 500 kW am Standort 1 sowie Nahwärmeleitung zur Zentrale)

	Betriebsergebnis in € pro Jahr bei		
	max. Substratkosten	min. Substratk.	Durchschnitt
Stromerlös (€ 185 * 3.822 MWh)	707.070	707.070	707.070
Wärmeerlös (€ 22,5 * (3783-115) MWh)	82.530	82.530	82.530
Summe Erlöse	789.600	789.600	789.600
Betriebskosten Fermenter Standort 1	46.706	46.706	46.706
Betriebskosten BHKW 500 kWel zentral	51.346	51.346	51.346
Betriebskosten Siloplatte	5.850	5.850	5.850
Substratkosten	301.260	177.730	239.495
Transportkosten	34.509	34.509	34.509
Stromkosten	37.101	37.101	37.101
Summe Betriebskosten	476.772	353.242	415.007
Betriebsergebnis vor AfA	312.828	436.358	374.593
AfA auf 15 Jahre (ohne Zinsen)	144.403	144.403	144.403
Betriebsergebnis nach AfA (ohne Zinsen)	168.425	291.955	230.190

Tabelle 56: Belieferung mit Maissilage und Gülle

Lieferantengruppe	Gülle	Mais
1 (A)	92	960
2 (B, R)	22	85
3 (C, D, L)	43	445
4 (E, F, G)	38	398
5 (H, I)	18	187
6 (J, K)	22	234
7 (M, N)	36	311
8 (P, Q, S, T)	45	90

Für diese Substratzusammensetzung wurden Zwischenfrüchte und Grünschnitt, die von einzelnen Landwirten bei der Optimalvariante geliefert werden, entsprechend des Methanertrags in Mais umgerechnet. Für die Maisproduktion würden bei einem TS-Ertag von 15 t ca. 180 ha Ackerfläche benötigt werden.

Bei dieser Anlagenkonstellation ist das Betriebsergebnis mit 168.400 € zwar um fast 20.000 € besser als bei der Variante mit zwei Fermentern und einem BHKW. Es bleibt jedoch hinter der optimalen Struktur immer noch um 27.900 € bzw. 14 % zurück.

Errichtung und Betrieb der Nahwärmeleitung sind zwar kostspielig, ohne Abwärmenutzung würde sich das Ergebnis jedoch nochmals deutlich verschlechtern (34.200 €), weil nicht nur die Einnahmen aus der Abwärmenutzung wegfallen, sondern auch der KWK Bonus.

Tabelle 57 Betriebsergebnisrechnung des Referenzszenarios ohne Abwärmenutzung (30% Gülle, 70 % Mais; nur ein Fermentersystem und BHKW mit je 500 kW am Standort 1)

	Betriebsergebnis in € pro Jahr bei		
	max. Substratkosten	min. Substratk.	Durchschnitt
Stromerlös (€ 165 * 3.822 MWh)	630.630	630.630	630.630
Betriebskosten Fermenter Standort 1	46.706	46.706	46.706
Betriebskosten BHKW 500 kWel zentral	51.346	51.346	51.346
Betriebskosten Siloplatte	5.850	5.850	5.850
Substratkosten	301.260	177.730	239.495
Transportkosten	34.509	34.509	34.509
Stromkosten	34.350	34.350	34.350
Summe Betriebskosten	474.021	350.491	412.256
Betriebsergebnis vor AfA	156.609	280.139	218.374
AfA auf 15 Jahre (ohne Zinsen)	122.403	122.403	122.403
Betriebsergebnis nach AfA (ohne Zinsen)	34.206	157.736	95.971

3.9 AP6

3.9.1 Eingangsdaten für die Berechnung des ökologischen Fußabdrucks

Die Berechnung wird jeweils für eine Hauptkultur mit Zwischenfrucht oder eine Hauptkultur mit Schwarzbrache durchgeführt. Beim System mit Zwischenfrucht werden zwei Varianten untersucht:

1. Pflugfurche zur Hauptkultur
konservierende Bodenbearbeitung und Beerntung mit Häcksler für die Zwischenfrucht
2. konservierender Bodenbearbeitung für die Hauptkultur
Direktsaat und Beerntung mit Kurzschnittladewagen für die Zwischenfrucht

Als Zwischenfrüchte werden jeweils Gemenge mit Leguminosenanteil (Sommerzwischenfrucht 50 %; Winterzwischenfrucht 35%) angebaut. Bei den Hauptkulturen kann deshalb der Einsatz von N-Dünger bedingt durch die N-Fixierung verringert werden.

Der Maschineneinsatz wurde auf eine durchschnittliche Schlaggröße von 2 ha und einer Entfernung vom Feld zum Hof bzw. zur Biogasanlage von 2 km bezogen. Sowohl bei der Haupt- als auch bei der Zwischenfrucht wurden sämtliche Arbeiten von der Bodenbearbeitung über Anbau, Pflanzenschutz, Düngung und Ernte einschließlich der Einlagerung im Getreidelager bzw. Silo sowie Ausbringung der Gärreste einbezogen. Die Arbeiten wurden nach Maschinengruppen eingeteilt:

- Dieselverbrauch bis 5 l/ha = light workload
- 5 l/ha bis 15 l/ha = normal workload
- über 15 l/ha = heavy workload

Die SPI Bewertung inkludiert neben Maschineneinsatz, Düngemittel, Pestizide auch den Flächenbedarf und berücksichtigt die Stickstofffixierung durch Leguminosen. Nachfolgend wird

dargestellt, mit welchen Maschinenstunden für die einzelnen Varianten gerechnet wurde (KTBL 2010).

Sommerzwischenfrüchte und Winterweizen

Tabelle 58 Arbeitsgänge für Winterweizen und Zwischenfrucht mit Zeit- und Energiebedarf

Arbeitsgänge	Maschinen- gruppe	System 1			System 2			Referenz		
		HF mit Pflug+ ZF konserv. u. Häcksler			HF konserv.+ ZF Direkt-saat u. Ladewagen			HF mit Pflug + Schwarz-brache		
		Diesel	Zeit	Zeit	Diesel	Zeit	Zeit	Diesel	Zeit	Zeit
		l/ha	AKh/ha	Akh/t TS	l/ha	AKh/ha	Akh/t TS	l/ha	AKh/ha	Akh/t TS
WINTERWEIZEN										
PK-Dünger streuen, Dünger:4,0 m³, 300 kg/ha Schleuderstreuer, 67 kW	Tractor (<70 kW), light workload	1,3	0,16	0,03	1,3	0,16	0,03	1,3	0,16	0,03
Herbizidmaßnahme Anbauspritze, 15 m, 1000 l, 45 kW, (1,5 l/ha Glyphosat)	Tractor (<45 kW), light workload			0,00	1,0	0,29	0,05			
Pflügen mit Anbaudrehpflug, 4 Schare, 1,40 m, 67 kW	Tractor (<70 kW), heavy workload	23,0	1,88	0,35				23,0	1,88	0,35
Egge Saatbettkombination 4 m 67kW	Tractor (<70 kW), normal workload	6,0	0,58	0,11				6,0	0,58	0,11
Säen von Winterweizen mit Sämaschine, 3,0 m, 45 kW	Tractor (<45 kW), light workload	3,8	0,81	0,15				3,8	0,81	0,15
Direktsämaschine, 4,50 m, 40 kg, 67kW	Tractor (<70 kW), normal workload				7,2	0,51	0,10			
Herbizidmaßnahme Anbauspritze, 15 m, 1000 l, 45 kW, 300l	Tractor (<45 kW), light workload	1,0	0,29	0,05	1,0	0,29	0,05	1,0	0,29	0,05
N-Dünger streuen (KAS, 27 % N, 160 kg), 0,8 m³ Schleuderstreuer, 45 kW	Tractor (<45 kW), light workload	0,9	0,22	0,04	0,9	0,22	0,04	0,9	0,22	0,04
Fungizidmaßnahme, Anbauspritze, 15 m, 1000 l, 45 kW, 300l	Tractor (<45 kW), light workload	1,0	0,29	0,05	1,0	0,29	0,05	1,0	0,29	0,05
Mähdrusch, 3 m, 90 kW, 6 t	Tractor (70-110 kW), heavy workload	19,3	1,50	0,28	19,3	1,50	0,28	19,3	1,50	0,28
Korntransport, 11 t, 2 km Dreiseitenkipper, 83 kW	Tractor (70-110 kW), light workload	0,6	0,10	0,02	0,6	0,10	0,02	0,6	0,10	0,02
Getreide in Lagerraum 1400 m³ einlagern, Teleskoplader 70 kW, 6t	Tractor (70-110 kW), light workload	1,0	0,11	0,02	1,0	0,11	0,02	1,0	0,11	0,02
Lagern, Annahmeleistung 40 t/h		0,0	0,27	0,05	0,0	0,27	0,05	0,0	0,27	0,05
Kalk ab Feld streuen, Schleuderstreuer, 4,0 m³, 67 kW, 3 t	Tractor (<70 kW), light workload	1,0	0,03	0,01	1,0	0,03	0,01	1,0	0,03	0,01
Stoppelgrubbern flach, 2,5 m, 67 kW	Tractor (<70 kW), normal workload	8,5	0,85	0,16	8,5	0,85	0,16	8,5	0,85	0,16
SOMMERZWISCHENFRUCHT										
Tiefgrubbern, 2,5 m, 67 kW	Tractor (<70 kW), normal workload	9,8	0,92	0,31						
Zwischenfruchtanbau mit Kreiselegger Sämaschine, 4,50 m, 40 kg, 67 kW	Tractor (<70 kW), normal workload	12,4	1,22	0,41						
Walzen Saatbett, 45 kW	Tractor (<45 kW), light workload	3,4	0,66	0,22						
Direktsämaschine, 4,50 m, 40 kg, 67kW	Tractor (<70 kW), normal workload				7,2	0,51	0,10			
Gärrest ausbringen, ab Hof mit Schleppschlauch, 7 m³, 45 kW	Tractor (<45 kW), normal workload	9,2	1,36	0,45	9,2	1,36	0,45			
Mähen mit Mähauflbereiter, 45 kW	Tractor (<45 kW), normal workload	5,3	0,63	0,21	5,3	0,63	0,21			
Wenden mit Kreiselzettwender, 45 kW	Tractor (<45 kW), light workload	2,7	0,42	0,14	2,7	0,42	0,14			
Schwaden, 45 kW	Tractor (<45 kW), light workload	3,2	0,50	0,17	3,2	0,50	0,17			
Häcksler										
Anwelkgut bergen mit Häcksler, 200 kW	Tractor (70-110 kW), normal workload	11,7	0,47	0,16						
Anwelkgut 2xTransport, 83 kW	Tractor (70-110 kW), light workload	1,6	0,95	0,32						
Anwelkgut Festfahren, 105 kW	Tractor (70-110 kW), light workload	2,8	0,95	0,32						
Ladewagen										

Anwelkgut bergen und Transport mit Ladewagen, 102 kW	Tractor (70-110 kW), normal workload				7,9	0,95	0,32			
Anwelkgut Festfahren, 105 kW	Tractor (70-110 kW), light workload				2,2	0,95	0,32			
Lagern von Silage mit Baukosten		0,0	1,17	0,39	0,0	1,17	0,39			

Beim Winterweizen wurde ein Durchschnittsertrag von 6 Tonnen mit einem Feuchtegehalt von 12% angesetzt. Der Trockenmasseertrag beträgt somit 5,3 Tonnen.

Für die Sommerzwischenfrüchte wurde ein Ertrag von 3 t TS/ ha bei einem TS-Gehalt von 28 % und einem Leguminosenanteil im Zwischenfruchtgemenge von 50 % angesetzt.

Tabelle 59 Zusammenfassung der SPI-Eingangsdaten für Winterweizen und Sommerzwischenfrüchte

LCI Eingangsdaten	System 1		System 2		Referenz
Fruchtfolgestellung	Hauptkultur	Zwischenfrucht	Hauptkultur	Zwischenfrucht	Hauptkultur
Bodenbearbeitung / Anbautechnik	Pflug	konserv. Bodenbearbeitung	konserv. Bodenbearb.	Direktsaat	Pflug
Beerntung	Häcksler / Mähdröschler	Häcksler	Häcksler / Mähdröschler	Kurzschnitt-ladewagen	Häcksler / Mähdröschler

Maschineneinsatz	(h/t TS)				
Tractor (<45 kW), light workload	0,30	0,53	0,21	0,31	0,30
Tractor (<45 kW), normal workload	0,00	0,66	0,00	0,66	0,00
Tractor (<70 kW), light workload	0,04	0,00	0,04	0,00	0,04
Tractor (<70 kW), normal workload	0,27	0,71	0,26	0,10	0,27
Tractor (<70 kW), heavy workload	0,35	0,00	0,00	0,00	0,35
Tractor (70-110 kW), light workload	0,04	0,63	0,04	0,32	0,04
Tractor (70-110 kW), normal workload	0,00	0,16	0,00	0,32	0,00
Tractor (70-110 kW), heavy workload	0,28	0,00	0,28	0,00	0,28

Düngung	(kg / t TS)				
Application of N-Fertiliser	18,34	0,00	18,34	0,00	28,30
Application of P-Fertiliser	1,52	0,00	1,52	0,00	1,52
Application of K-Fertilisation	1,70	0,00	1,70	0,00	1,70
Application of Ca-Fertiliser	5,91	0,00	5,91	0,00	5,91

Pflanzenschutz	(g / t TS)				
Herbicide MCPA SP	27,30	0,00	27,30	0,00	27,30
Herbicide Mecoprop-P SP	20,91	0,00	20,91	0,00	20,91
Fungicide Tebuconazol SP	1,06	0,00	1,06	0,00	1,06
Fungicide Tebuconazol SP	5,10	0,00	5,10	0,00	5,10
Molluscicide Methiocarb SP	1,52	0,00	1,52	0,00	1,52

Winterzwischenfrüchte und Mais

Beim Mais wurde ein Durchschnittsertrag von 50 Tonnen mit einem Feuchtegehalt von 33% angesetzt. Der Trockenmasseertrag beträgt somit 15 Tonnen.

Für die Winterzwischenfrüchte wurde ein Ertrag von 4 t TS/ ha bei einem TS-Gehalt von 28 % und einem Leguminosenanteil im Zwischenfruchtgemenge von 30 % angesetzt. Je später Winter-Zwischenfrüchte beerntet werden, umso größer ist das Risiko von Ertragseinbußen bei der nachfolgenden Hauptkultur. Deshalb wird bei Winterzwischenfrüchten von einer frü-

hen Ernte Ende April und einem durchschnittlichen Ertrag von nur 4 t TS pro Hektar ausgegangen. Bei unmittelbar nachfolgendem Maisanbau ist es dann realistisch den selben Mais-silageertrag von 15 t TS pro Hektar wie nach Schwarzbrache oder Winterzwischenfrucht als Gründünger auszugehen.

Tabelle 60 Arbeitsgänge für Winterweizen und Zwischenfrucht mit Zeit- und Energiebedarf

Arbeitsgänge	Maschinen- gruppe	System 1			System 2			Referenz		
		HF mit Pflug+ ZF konserv. u. Häcksler			HF konserv.+ ZF Direkt- saat u. Ladewagen			HF mit Pflug		
		Diesel	Zeit	Zeit	Diesel	Zeit	Zeit	Diesel	Zeit	Zeit
		l/ha	AKh/ha	Akh/t TS	l/ha	AKh/ha	Akh/t TS	l/ha	AKh/ha	Akh/t TS
WINTERZWISCHENFRUCHT										
Tiefgrubbern, 2,5 m, 67 kW	Tractor (<70 kW), normal workload	9,8	0,92	0,23						
Säen mit Kreiselegge und Sämaschine, 4,50 m, 40 kg, 67 kW	Tractor (<70 kW), normal workload	12,4	1,22	0,31						
Walzen Saatbett oder Ansaat , 45 kW	Tractor (<45 kW), light workload	3,4	0,66	0,17						
Direktsämaschine, 4,50 m, 40 kg, 67kW	Tractor (<70 kW), normal workload				7,2	0,51	0,10			
Gärrest ausbringen, mit Schleppschuh, 7 m³, 45 kW	Tractor (<70 kW), normal workload	9,2	1,36	0,34	9,2	1,36	0,34			
Mähen mit Mähauflbereiter, 45 kW	Tractor (<45 kW), normal workload	6,2	0,73	0,18	6,2	0,73	0,18			
Wenden mit Kreiselzettwender, 45 kW	Tractor (<45 kW), light workload	2,7	0,42	0,11	2,7	0,42	0,11			
Schwaden, 45 kW	Tractor (<45 kW), light workload	3,2	0,50	0,13	3,2	0,50	0,13			
Häcksler										
Anwelkgut bergen mit Häcksler, 200 kW	Tractor (70-110 kW), normal workload	11,7	0,47	0,12						
Anwelkgut 2xTransport, 83 kW	Tractor (70-110 kW), normal workload	1,6	0,95	0,24						
Anwelkgut Festfahren,105 kW	Tractor (70-110 kW), light workload	2,8	0,95	0,24						
Ladewagen										
Anwelkgut bergen und Transport mit Ladewagen , 102 kW, 14 t	Tractor (70-110 kW), normal workload				7,9	0,95	0,24			
Anwelkgut Festfahren, 105 kW	Tractor (70-110 kW), light workload				2,2	0,95	0,24			
Lagern von Silage mit Baukosten, 14 t		0,0	1,47	0,37	0,0	1,47	0,37			
MAIS										
4,0 m³ PK-Dünger streuen, 600 kg/ha, Anhängeschleuderstreuer, 67 kW	Tractor (<70 kW), normal workload	1,6	0,18	0,01	1,6	0,18	0,01	1,6	0,18	0,01
Pflügen mit Anbaudrehpflug, 4 Schare, 1,40 m, 67 kW	Tractor (<70 kW), heavy workload	23,0	1,88	0,13				23,0	1,88	0,13
Eggen mit Saatbettkombination, angebaut, 4,0 m, 67 kW	Tractor (<70 kW), normal workload	6,0	0,58	0,04				6,0	0,58	0,04
Einzelkornsaat von Mais, 4 Reihen, 3,0 m, 45 kW, 28 kg	Tractor (<70 kW), normal workload	2,8	0,79	0,05				2,8	0,79	0,05
Tiefgrubbern, 2,5 m, 67 kW	Tractor (<70 kW), normal workload				9,8	0,92	0,06			
Direktsaat von Mais, 4 Reihen, 3,0 m, 102 kW, 28 kg	Tractor (70-110 kW), normal workload			0,00	11,3	1,23	0,08			0,00
Herbizidmaßnahme ab Hof, Anbauspritze, 15 m 1000 l, 45 kW	Tractor (<45 kW), light workload	1,0	0,29	0,02	1,0	0,29	0,02	1,0	0,29	0,02
N-Dünger streuen, (KAS, 27 % N, 400 kg), 0,8 m³ Schleuderstreuer, 45 kW	Tractor (<45 kW), light workload	1,0	0,25	0,02	1,0	0,25	0,02	1,0	0,25	0,02
Silomais häckseln, Selbstfahrer, vierreihig, 200 kW, 50 t	Tractor (70-110 kW), normal workload	29,5	1,47	0,10	29,5	1,47	0,10	29,5	1,47	0,10
Transport, Doppelzug, je 4 t/ Wagen, Hof-Feld-Entfernung 2 km, 67 kW	Tractor (<70 kW), normal workload	7,7	5,89	0,39	7,7	5,89	0,39	7,7	5,89	0,39
Festfahren, Radlader, 83 kW	Tractor (70-110 kW), normal workload	7,0	1,47	0,10	7,0	1,47	0,10	7,0	1,47	0,10

	workload									
Lagern von Silage mit Baukosten, 50 t		0,0	4,67	0,31	0,0	4,67	0,31	0,0	4,67	0,31
Kalk streuen, Anhängeschleuderstreuer, 4,0 m³, 67 kW, 3 t	Tractor (<70 kW), normal workload	1,0	0,03	0,00	1,0	0,03	0,00	1,00	0,03	0,00
Stoppelgrubbern flach, 2,5 m, 67 kW	Tractor (<70 kW), normal workload	8,5	0,85	0,06	8,5	0,85	0,06	8,50	0,85	0,06

Tabelle 61 Zusammenfassung der SPI-Eingangsdaten für Winterweizen und Sommerzwischenfrüchte

LCI Eingangsdaten	System 1		System 2		Referenz
Fruchtfolgestellung	Hauptkultur	Zwischenfrucht	Hauptkultur	Zwischenfrucht	Hauptkultur
Bodenbearbeitung / Anbautechnik	Pflug	konserv. Bodenbearbeitung	konserv. Bodenbearb.	Direktsaat	Pflug
Beerntung	Häcksler / Mährescher	Häcksler	Häcksler / Mährescher	Kurzschnitt-ladewagen	Häcksler / Mährescher

Maschineneinsatz	(h/t TS)				
Tractor (<45 kW), light workload	0,40	0,23	0,04	0,04	0,04
Tractor (<45 kW), normal workload	0,18	0,18	0,00	0,00	0,00
Tractor (<70 kW), light workload	0,88	0,44	0,55	0,52	0,55
Tractor (<70 kW), normal workload	0,00	0,00	0,13	0,00	0,13
Tractor (<70 kW), heavy workload	0,24	0,24	0,00	0,00	0,00
Tractor (70-110 kW), light workload	0,36	0,24	0,20	0,28	0,20
Tractor (70-110 kW), normal workload	0,40	0,23	0,04	0,04	0,04
Tractor (70-110 kW), heavy workload	0,18	0,18	0,00	0,00	0,00
Düngung	(kg / t TS)				
Application of N-Fertiliser	9,33	0,00	9,33	0,00	12,67
Application of P-Fertiliser	1,57	0,00	1,57	0,00	1,57
Application of K-Fertilisation	9,29	0,00	9,29	0,00	9,29
Application of Ca-Fertiliser	8,43	0,00	8,43	0,00	8,43
Pflanzenschutz	(g / t TS)				
Herbicide MCPA SP	61,56	0,00	61,56	0,00	61,56
Herbicide Mecoprop-P SP	108,05	0,00	108,05	0,00	108,05
Fungicide Tebuconazol SP	6,91	0,00	6,91	0,00	6,91
Fungicide Tebuconazol SP	61,56	0,00	61,56	0,00	61,56
Molluscicide Methiocarb SP	108,05	0,00	108,05	0,00	108,05

3.10 Literatur:

- AMON T, DÖHLER H (2006): Qualität und Verwertung des Gärrestes. In: FNR (Hrsg.): Handreichung Biogasgewinnung und -nutzung 2009, 4. überarbeitete Auflage, Gülzow
- ADDISCOTT T.M. 1983. Kinetics and temperature relationships of mineralization and nitrification in Rothamsted soils with differing histories. Journal Soil Science 34: 343–353
- AULAKH M.S. Doran J.W. Walters D.T. Mosier A.R. Francis D.D. 1991. Crop residue type and placement Effects on Denitrification and Mineralization. Soil Science Society of America Journal 55: 1020-1025
- BAGGS E.M. Stevenson M. Pihlatie M. Regar A. Cook H. Cadisch G. 2003. Nitrous oxide emissions following application of residues and fertilizer under zero and conventional tillage. Plant and Soil 254: 361-370
- BAGGS E.M. Rees R.N. Smith K.A. Vinten A.J.A. 2000. Nitrous oxide emissions from soil after incorporating crop residues. Soil Use and Management 16: 82-87

- BEAUCHAMP, E.G. 1997: Nitrous oxide emission from agriculture soils. Canadian journal of soil science 77: 113-123
- FEICHTINGER, F., A. Scheidl & J. Dorner (2005): "ÖPUL 2000 – Begrünungsvarianten (Punkt 2.22)", Evaluierung der wasserwirtschaftlichen Relevanz (Effizienz) einer Begrünung von Ackerflächen im Herbst und Winter. – Bericht des Bundesamtes für Wasserwirtschaft.
- FEICHTINGER, F. (1998): STOTRASIM – Ein Modell zur Simulation der Stickstoffdynamik in der ungesättigten Zone eines Ackerstandortes. – Schriftenreihe des Bundesamtes für Wasserwirtschaft, Band 7, S. 14-41.
- FLESSA H. Besse F. 1995. Effects of Sugarbeet Residues on Soil Redox Potential and Nitrous Oxide. Soil Science Society of America Journal 59: 1044-1051
- FLESSA H. Potthoff M. Lottfield N. 2002. Greenhouse estimates of CO₂ and N₂O emissions following surface application of grass mulch: importance of indigenous microflora of mulch. Soil Biology and Biochemistry 34: 875-879
- Friedler F., Varga J.B., Fan L.T., 1995, Decision-mapping: a tool for consistent and complete decisions in process synthesis. Chemical Engineering Science 50:1755-1768
- GARCIA-RUIZ R. Baggs E.M. 2007. N₂O emission from soil following combined application of fertilizer-N and ground weed residues. Plant and Soil 299: 263-274
- HUANG Y. Zou J. Zheng X. Wang Y. Xu X. 2004. Nitrous oxide emissions as influenced by amendment of plant residues with different C:N ratios. Soil Biology and Biochemistry 36: 973-981
- IFA & FAO. 2001. Global estimates of gaseous emissions NH₃, NO and N₂O from agricultural land. International Fertilizer Industry Association, Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rom
- IPCC. 2001. Climate Change 2001. The Scientific Basis, Cambridge University Press, Cambridge
- KLAGHOFER, E. (1982): SIMWASER – Zur frage der Regelung des Bodenwasserhaushaltes schwerer Böden. – Mitteilung der Bundesanstalt für Kulturtechnik und Bodenwasserhaushalt, Nr. 28, A-3252 Petzenkirchen.
- LARSSON L., Ferm M., Kasimir-Klemedtsson A., Klemedtsson L. 1998. Ammonia and nitrous oxide from grass and alfalfa mulches. Nutrient cycling in Agroecosystems 51: 41-46
- McKENNY D.J. Wang S.W. Drury C.F. Findlay W.I. 1993. Denitrification and mineralization in soil Amended with legume grass and corn residues. Soil Science Society of America Journal 57: 1013-1020
- MILLAR N. Baggs E.N. 2005. Relationship between N₂O emissions and water-soluble C and N contents of agroforestry residues after their addition to soil. Soil Biology and Biochemistry 37:605-608
- STENITZER, E. (1988): SIMWASER – Ein numerisches Modell zur Simulation des Bodenwasserhaushaltes und des Pflanzenertrages eines Standorts. – Mitteilung der Bundesanstalt für Kulturtechnik und Bodenwasserhaushalt, Nr. 31, A-3252 Petzenkirchen.
- VAN GENUCHTEN, M. Th., F. J. LEIJ, and S. R. YATES, 1991: The RETC code for quantifying the hydraulic functions of unsaturated soils. Report No. EPA/600/2-91/065, R. S. Kerr Environmental Research, Laboratory, U. S. Environmental Protection Agency, Ada, OK. 85 p.
- VELTHOF L.V. Kuikman P.J. Oenema O. 2002. Nitrous Oxide emission from soils amended with crop residues. Nutrient cycling in Agroecosystems 62: 249-261
- Wagner, R.: Ökonomischer und energetischer Vergleich von Biogasleitungen mit Warmwasserleitungen zur besseren Wärmeverwertung, C.A.R.M.E.N, 2008, 9 Seiten
- WPA GmbH und BAW (2009a): ÖPUL Evaluierung – Änderungen in der Gesamtwirksamkeit der Begrünungsvarianten und Nebeneffekte. – Bericht im Rahmen der ÖPUL Evaluierung an das BMLFUW.
- WPA GmbH und BAW (2009b): ÖPUL Evaluierung – Nitrataustrag aus auswaschungsgefährdeten Ackerflächen. – Bericht im Rahmen der ÖPUL Evaluierung an das BMLFUW. Quellen

IMPRESSUM

Verfasser

ÖKOCLUSTER

Manfred Szerencsits
Steinberg 132, 8151 Hitzendorf
Tel: +43 (0) 316 / 587 982
E-Mail: office@oeko-cluster.at
Web: www.oeko-cluster.at

Projektpartner

- P1. wpa Beratende Ingenieure
- P2. Biogas Strem Errichtungs- u.
BetriebsGmbH & Co KG
- P3. TU-Graz – Institut für Prozess- und
Partikeltechnik

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