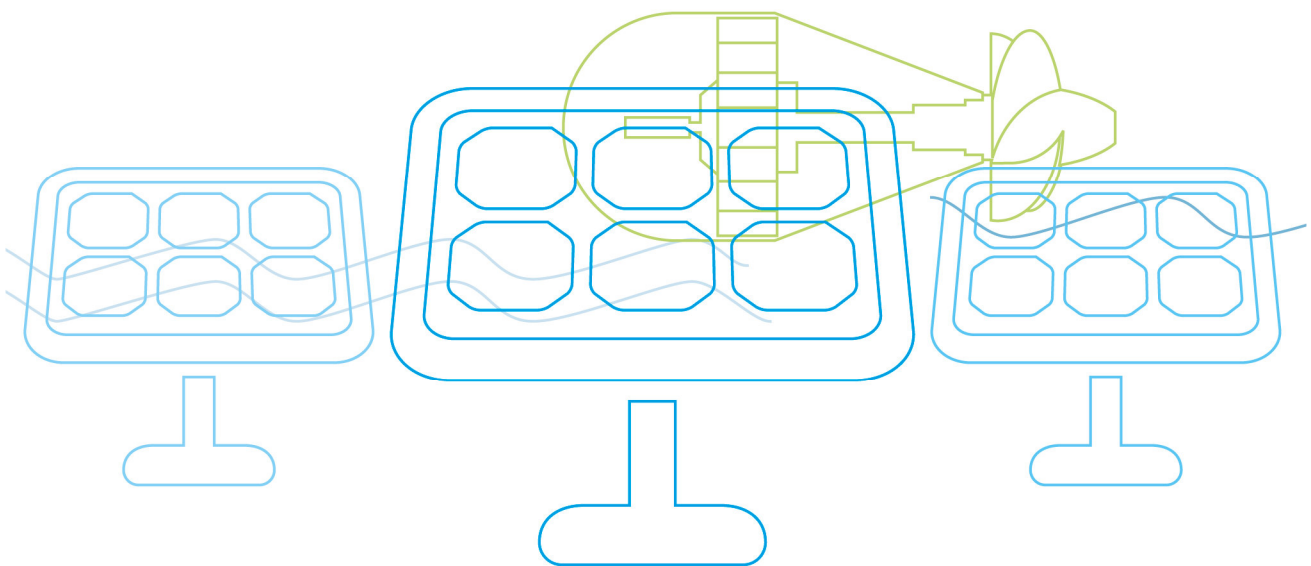




Syn-Energy II

Synergetische Biogaserzeugung aus
Zwischenfrüchten und nachhaltigen
Fruchtfolgesystemen



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 stylized, handwritten signature in black ink, consisting of several fluid, overlapping strokes.

Ingmar Höbarth
Geschäftsführer, Klima- und Energiefonds

A handwritten signature in black ink that reads 'Theresia Vogel' in a cursive script.

Theresia Vogel
Geschäftsführerin, Klima- und Energiefonds

Inhaltsverzeichnis

1	Zusammenfassung.....	4
1.1	Ausgangssituation, Zielsetzung, Methodik	4
1.2	Ergebnisse	4
1.2.1	Ausblick und Resümee	6
2	Ausgangssituation/Motivation des Projektes	7
3	Ziele	8
4	ZF-Trockenmasseerträge.....	9
4.1	Zwischenfrüchte (ZF) - Pflanzen, zwischen zwei Hauptkulturen.....	9
4.2	Vorgehensweise und Methodik	9
4.3	Winterzwischenfrüchte (W-ZF)	10
4.4	Sommerzwischenfrüchte (S-ZF).....	12
4.5	Durchschnittlich erzielbarer Zwischenfrucht-Ertrag.....	14
5	Methanerträge	14
6	Auswirkungen der ZF-Nutzung auf Humusgehalt und Bodenfruchtbarkeit	15
6.1	Vorgehensweise und Methodik	15
6.2	Humusnachlieferung bei unterschiedlicher ZF-Biomassebildung und Nutzung.....	16
7	Auswirkungen auf Wasserhaushalt sowie Klima-, Erosions- und Wasserschutz	17
7.1	Vorgehensweise und Methodik	17
7.2	Lachgasemissionen	18
7.3	Erosion.....	19
7.4	Nitratauswaschung	20
8	Energiebilanzen und ökologischer Fußabdruck.....	21
8.1	Vorgehensweise und Methodik	21
8.2	Energiebilanzen – Vergleichende Bewertung der Energieeffizienz	22
8.3	Ökologischer Fußabdruck	24
9	Praktische Erprobung und wirtschaftliche Bewertung der Biogaserzeugung aus ZF	25
9.1	Vorgehensweise und Methodik	25
9.2	Anbau	26
9.3	Saatgut	26
9.4	Biogasgülleausbringung	27
9.5	ZF-Ernte und Transport	27
9.6	Lagerung, Fermentation, Co-Substrate:.....	28
9.7	Kommunikation und Management.....	29
9.8	Vermeidung von Bodenverdichtungen	30
9.9	Anrechnung von Kosteneinsparungen bei Hauptkulturen	30
9.10	Ökologische Leistungen und Verbesserung der Bodenfruchtbarkeit	30
9.11	Ökonomische Gesamtbewertung	30
9.12	Ökonomische Attraktivität von ZF in Relation zu Silomais.....	31
10	Vorbehalte und Hemmnisse für die Biogaserzeugung aus ZF.....	32
11	Marktpotenziale der Biogaserzeugung aus ZF.....	33
12	Synergetische Biogaserzeugung aus ZF, Reststoffen und Gülle.....	35
13	Größenordnungen volkswirtschaftlicher Effekte.....	37
14	Weiterer Forschungsbedarf	38
15	Anhang	40
15.1	ZF-Trockenmasseerträge	40
15.1.1	S-ZF Streifenversuch Güssing:	42
15.1.2	W-ZF und Hauptkulturen Streifenversuch Güssing:.....	42

15.1.3	Hasendorf/Leibnitz – Erträge von Winterzwischenfrüchten und Hauptkulturen	44
15.1.4	Streifenversuch in Ottstorf bei Thalheim/Wels (OÖ)	46
15.1.5	Blockversuche Rohrau und Schönabrunn bei Bruck/Leitha (NÖ)	48
15.1.6	Winterzwischenfrucht-Herbstdüngungsversuch Pölla bei Mank (NÖ)	50
15.1.7	Zusammenfassung der ermittelten Trockenmasseerträge	51
15.1.8	Beispiele von Fruchtfolgen für Biogas aus ZF mit jährlich einer ZF-Ernte	52
15.2	Methanerträge	53
15.3	Auswirkungen der ZF-Nutzung auf Humusgehalt und Bodenfruchtbarkeit	55
15.3.1	Humusbilanzmethodik	55
15.3.2	Ergebnisse und Diskussion	56
15.3.3	Humusbilanzen der Versuchsstandorte im Projekt	60
15.3.4	Conclusio Humusgehalt und Bodenfruchtbarkeit	66
15.3.5	Literatur Humus und Bodenfruchtbarkeit	67
15.4	Bewertung der Effekte auf Wasserhaushalt sowie Klima-, Erosions- und Wasserschutz	67
15.4.1	Untersuchungsergebnisse N _{min} -Gehalt	67
15.4.2	Ergebnisse im Herbstdüngungsversuch Pölla	70
15.4.3	Grundwasserneubildung und Stickstoffverlagerung	73
15.4.4	Abschätzung von Lachgasemissionen	78
15.4.5	Erosionsberechnung	84
15.5	Energiebilanzen und ökologischer Fußabdruck	86
15.5.1	Energiebilanzen	86
15.5.2	Ökologischer Fußabdruck	88
15.5.3	Literatur Energiebilanzen, ökologischer Fußabdruck	95
15.6	Praktische Erprobung und wirtschaftliche Bewertung der Biogaserzeugung aus ZF	96
15.6.1	Biogas aus S-ZF durch Praktiker auf ganzen Schlägen und Markteinführung BIOGASMIX	96
15.6.2	S-ZF-Pflanzenarten und Zusammenstellung von S-ZF-Gemengen	97
15.6.3	Kombinierte Verwertung von S-ZF mit Maisstroh und Erschließung von Gülle	99
15.6.4	Auswirkungen von S-ZF auf nachfolgende Hauptkulturen	99
15.6.5	Biogas aus W-ZF in der praktischen Anwendung	100
15.6.6	Management, zeitgerechte Arbeitserledigung, Bedarf an zusätzlicher Technik/Personal 101	
15.6.7	Auswirkungen von W-ZF auf nachfolgende Hauptkulturen	102
15.6.8	Demoversuch zur S-ZF und W-ZF mit Maschinenvorfürhrungen 2012	102
15.6.9	S-ZF-Mischungen für Anbau mit zwei Saatkästen	104
15.6.10	Auswirkungen der Beerntung von S-ZF auf den ÖPUL-Förderanspruch	105
15.7	Abschätzung volkswirtschaftlicher Effekte	106
16	Tabellenverzeichnis	108
17	Abbildungsverzeichnis	110

1 Zusammenfassung

1.1 Ausgangssituation, Zielsetzung, Methodik

Die Biogaserzeugung hat in Österreich seit einigen Jahren mit ungünstigen Rahmenbedingungen zu kämpfen. Deren Auswirkungen fasste die E-Control zuletzt im Ökostrombericht 2014 folgendermaßen zusammen: *„Im Bereich Biogas ist damit zu rechnen, dass neben einem sehr geringen Ausbau eine Vielzahl von Bestandsanlagen vom Netz gehen werden“*. Die Biogaserzeugung wird häufig mit der Kritik konfrontiert, eine Ausdehnung des Maisanbaus zu verursachen und dadurch die Risiken des Ackerbaus für Umwelt und Natur zu erhöhen. Denn wenn die höheren Ertragspotenziale von Mais ausgeschöpft werden, erfordert dies entsprechende Nährstoffmengen und bedingt in der Regel erhöhtes Risiko von Erosion und Humusabbau. Hinzu kommt, dass eine Gefährdung der Ernährungssicherheit und ein Anstieg der Strompreise befürchtet werden.

Das zentrale Ziel war deshalb die Ermittlung der Potenziale für einen synergetischen Ausbau der Biogaserzeugung. Einem Ausbau, der vorrangig auf Zwischenfrüchte (ZF) setzt, eine Steigerung des Fruchtfolgeertrags ermöglicht und die Ernährungssicherheit nicht einschränkt. Durch die Ausweitung des ZF-Anbaus und Anwendung von Mulch- und Direktsaattechnik wird gleichzeitig eine Reduktion des Risikos von Erosion, Grundwasserbelastungen und Lachgasemissionen sowie eine Verbesserung des Humusgehalts, der Bodenfruchtbarkeit und der Energieeffizienz angestrebt. Ob und inwieweit die Erschließung dieser Synergien gelingen kann, wurde nicht nur für konventionelle sondern auch für biologische Fruchtfolgesysteme geprüft.

Zur Erreichung dieser Ziele wurden vier Feldversuche mit je dreifacher Wiederholung in der Nähe von Güssing, Leibnitz, Wels und Bruck/Leitha weitergeführt und ein einjähriger Versuch südlich von Melk angelegt. In den Versuchen wurden ZF für die Biogaserzeugung beerntet und Methanertragspotenziale ermittelt. In Vergleichsvarianten wurde die ZF gemulcht oder keine ZF angebaut. Durch einheitlichen Hauptkulturanbau auf allen Teilflächen konnten die Auswirkungen der Biogaserzeugung aus ZF auf den Ertrag der Folgefrüchte ermittelt werden. Mit Gipsblöcken, TDR-Sensoren, Saugkerzen und N_{min} -Beprobungen wurden darüber hinaus Daten für die Kalibrierung von Bodenwasserhaushalts- und Stofftransportmodellen gewonnen. Ergänzend wurden Stickstoff-, Humus-, Energie- und Ökobilanzen gerechnet und die Wirtschaftlichkeit untersucht. Daneben wurde die technische Verwertbarkeit von ZF im Praxismaßstab erprobt, um eventuelle Probleme bei der Anwendung zu identifizieren. Aus den Ergebnissen wurden Vorschläge zur Verbesserung der Rahmenbedingungen für die Biogaserzeugung aus ZF abgeleitet.

1.2 Ergebnisse

Auf einigen Flächen wurden Maximalerträge von 7 - 8 t Trockenmasse (TM o. TS) pro Hektar (ha) erzielt. Die durchschnittlichen Erträge lagen zwischen 3 und 5 t TS / ha. In den meisten Fällen gab es Potenziale zur Ertragssteigerung und Verbesserung der Ertragssicherheit.

Winterzwischenfrüchte (W-ZF): Das Ertragsniveau und Auswirkungen auf die Folgekultur können vor allem durch das Düngenniveau und den Erntetermin der ZF bestimmt werden. Bei einer Ernte ab dem 5. Mai sind auch ohne Herbstdüngung Erträge von mehr als 6 t TS/ha möglich. In den letzten April- und ersten Mai-Tagen können Erträge von 3 – 6 t TS/ha erzielt

werden. Davor bleiben sie in der Regel unter 3 t TS/ha. Je früher W-ZF beerntet und Mais, Soja oder Ölkürbis angebaut werden, umso geringer ist das Risiko von Ertragseinbußen. Vor allem bei Mais ist auf eine bedarfsgerechte Düngung unter Berücksichtigung der ZF-Stickstoffentzüge zu achten. Bei Frühjahrstrockenheit kann insbesondere auf leichten Böden auch Wassermangel zu Ertragseinbußen führen.

Sommerzwischenfrüchte (S-ZF): Das Ertragsniveau ist neben der Bodenart und der Auswahl geeigneter Pflanzenarten vor allem vom Anbautermin und der Niederschlagsverteilung abhängig. ZF-Gemenge, deren Mischungspartner unterschiedliche Witterungsbedingungen bevorzugen, sind empfehlenswert (z. B. BIOGASMIX). Mit Leguminosen im Gemenge kann die Düngung reduziert werden. Bei ausreichenden Sommer-Niederschlägen werden bei Anbau Anfang Juli nach Gerste oder Raps die höchsten Erträge von 5 - 7 t TS/ha erreicht. Bei Anbau nach Weizen bis Ende Juli sind noch 3 - 5 t TS/ha möglich. Bei ungünstigem Witterungsverlauf und/oder Anbau im August verringert sich die Ertragserwartung auf 2 – 3 t TS/ha bzw. die Bestände erreichen keine Erntewürdigkeit.

Trockenmasse- und Energie-Ertrag: Bei einem Methanertrag von 280 NI/kg TS bzw. 305 NI/kg oTS können mit 4,5 t ZF-TS ca. 1260 Nm³ CH₄ brutto erzeugt werden. Würde auf 50 % der österreichischen Ackerflächen Bio-Methan aus ZF erzeugt werden, ergäbe dies brutto ca. 860 Mio. Nm³ Methan (CH₄) pro Jahr. Das entspricht knapp 10 % des Inlandsverbrauchs an Erdgas von 2013. Für die Bereitstellung von Biomethan vom Anbau über die Ernte bis zur Aufbereitung und Verdichtung werden 15 – 20 % der Bruttoenergie benötigt, sodass netto ca. 1000 Nm³ CH₄/ha verbleiben. Mit einem Mittelklasse CNG-PKW (3,5 kg CH₄/100km) können damit mehr als 20.000 km zurückgelegt werden. Aus Sicht der Energieeffizienz lohnt es sich allerdings auch noch deutlich schlechter entwickelte ZF-Bestände zu nutzen: Bei einem Ertrag von 2 t TS/ha liegt der Eigenanteil für die Bereitstellung von verdichtetem CH₄ bei 19 – 23 %, sodass von 560 Nm³ CH₄/ha immer noch 440 Nm³ CH₄/ha netto verbleiben.

Humusgehalt und Bodenfruchtbarkeit: Durch die Biogaserzeugung aus ZF und Rückführung einer äquivalenten Menge an Biogasgülle kann der Humusgehalt im Vergleich zur Schwarzbrache deutlich verbessert werden. Bei 50 % Silomais und 50 % Wintergetreide als Hauptkulturen steigt der Humusbilanzsaldo von ca. –50 auf ca. 280 kg C/ha*a, wenn jährlich aus 4,5 t TS/ha ZF Biogas erzeugt wird. Mit einem ZF-Ertrag von 2,5 t TS/ha beträgt der Saldo 220 kg C/ha*a und ist damit höher als durch mulchen derselben ZF zur Gründüngung (170 kg C/ha*a).

Wasserhaushalt, Klima-, Erosions- und Wasserschutz: In Fruchtfolgen ohne ZF-Anbau tragen ca. 30 % des Niederschlags zur Grundwasserneubildung bei. Im Falle gemulchter ZF sind es ca. 27 %. Infolge der höheren Biomassebildung sinkt sie im Falle der Beerntung auf ca. 25%. Trotz des reduzierten Verdünnungseffekts verringert sich auch die Nitratkonzentration im Falle der Gründüngung von 55 auf 54 mg NO₃/l und im Falle der Beerntung auf 43 NO₃/l. Bezogen auf den Stickstoffaustrag bedeutet dies eine Reduktion durch Gründüngung um 6 % und durch Beerntung der ZF um 26 %.

Die Auswirkungen auf Lachgasemissionen wurden mithilfe eines statistischen Modells abgeschätzt. Die Ergebnisse sind deshalb mit entsprechenden Unsicherheiten verbunden. ZF zur Gründüngung erhöhen die Emissionen gegenüber der Schwarzbrache um ca. 60 %

von 1,4 auf 2,3 kg N₂O-N /ha*a. Durch die Beerntung wird die Zufuhr leicht abbaubarer organischer Substanz verringert, sodass der Anstieg mit ca. 15 % auf 1,7 kg N₂O-N /ha*a niedriger ausfällt. In Vergleich zur Gründüngung reduzieren sich die Emissionen um ca. 25%. Hinsichtlich der Erosionsminderung ergab die Modellierung, dass der Bodenabtrag durch eine Begrünung mit 2,5 t TS/ha gegenüber der Schwarzbrache um ca. 50 % vermindert werden kann. Im Falle der Beerntung wird eine vergleichbare Absenkung erreicht, wenn 4,5 t TS/ha an ZF-Biomasse gebildet werden. Wird zusätzlich auf den Einsatz des Pflugs verzichtet ergibt sich gegenüber der Schwarzbrache eine Reduktion um ca. 75 %.

Der ökologische Fußabdruck verringert sich durch Gründüngung gegenüber der Schwarzbrache um ca. 10%. Durch die energetische Nutzung der ZF ergibt sich hingegen sogar eine Verbesserung um ca. 50 %. Die Biogaserzeugung aus Mais auf 20 % der Ackerfläche bringt unter Berücksichtigung der Flächenkonkurrenz und Erdgassubstitution gegenüber dem Silomaisanbau zur Futternutzung eine ökologische Verbesserung um ca. 20 %. Wird nur das Stroh von Körner- oder CCM-Mais genutzt, ergibt sich eine Verbesserung um ca. 25 %.

Praktische Verwertbarkeit und wirtschaftliche Bewertung: In Zusammenarbeit mit Praktikern zeigte sich, dass es zwar geeignete Technik für Anbau, Ernte und Verwertung von ZF gibt, deren Verfügbarkeit jedoch von der regionalen Agrarstruktur und den finanziellen Möglichkeiten abhängt. Ist keine effiziente Mulchsaat- oder Grünlandtechnik verfügbar, steigen entweder Aufwand und Kosten oder es muss investiert werden. Neben technischen sind logistische und fachlich-ackerbauliche Herausforderungen sehr bedeutsam. Insbesondere Kommunikation und Management stellen eine große Hürde dar, wenn eigene Flächen nicht ausreichen und Landwirte im Umfeld der Anlage zur Kooperation gewonnen werden müssen. Die betriebswirtschaftliche Attraktivität wird von der Einspeisevergütung und dem Preis von Mais bestimmt. Sinkt letzterer auf ein Niveau wie im Herbst 2014 wird Maissilage mit Preisen unter 75 €/t TS verfügbar. Um bei einem durchschnittlichen ZF-Ertrag von 4,5 t TS/ha anfallende Kosten decken zu können, ist für ZF jedoch ein Preis von ca. 90 €/t TS erforderlich. Bei niedrigeren ZF-Erträgen überschreiten die Kosten auch 100 €/t TS. ZF liefern zudem etwas weniger Methan pro t TS als Mais. Aus rein betriebswirtschaftlicher Sicht ist die Nutzung von ZF deshalb ohne Anrechnung mindestens eines Teils der ÖPUL-Zahlung nur rentabel, wenn der Preis von Körnermais über 180 – 200 €/t liegt. Angesichts der angespannten wirtschaftlichen Situation und der Ungewissheit hinsichtlich der Folgetarife ist das zögerliche Interesse vieler Anlagenbetreiber deshalb nachvollziehbar. Die Gestaltung der ÖPUL-Richtlinien müsste Landwirten deshalb eine ZF-Beerntung nahelegen, weil dadurch die Effektivität des ZF-Anbaus verbessert wird. Andererseits bräuchte es auch seitens der Einspeisevergütung Anreize zur ZF-Nutzung und Überwindung damit verbundener Herausforderungen. Strom aus ZF könnte z. B. mit einem Bonus von 2 – 4 Cent pro kWh honoriert werden. Eine andere Möglichkeit wäre die Schaffung attraktiver Bedingungen für die Treibstoffnutzung von Biomethan aus ZF z. B. durch Investitionsförderung.

1.2.1 Ausblick und Resümee

1. ZF ermöglichen die Bereitstellung von Bioenergie bei gleichzeitiger Verbesserung der Ernährungssicherheit sowie Umwelt- und Klimaverträglichkeit der Landwirtschaft.

2. Die Biogaserzeugung aus ZF und Reststoffen schafft Arbeitsplätze und erhöht die inländische Wertschöpfung ohne sonstige Erzeugung zu verdrängen, Ressourcennutzung einzuschränken oder Arbeitsplätze in anderen Bereichen zu gefährden.
3. Es ergibt sich eine WIN-WIN-Situation, die zur Verbesserung der gesellschaftlichen Akzeptanz der Biogaserzeugung in der Bevölkerung beiträgt und den weiteren Ausbau ermöglichen kann.

Neben weiterer Forschung zur Optimierung praktischer Verfahren und zur Erhöhung der Ertragssicherheit sowie Analysen ökologischer Effekte wären zuallererst die volkswirtschaftlichen Effekte, die mit der Biogaserzeugung aus ZF und Reststoffen erzielbar sind, einer vertiefenden Analyse zu unterziehen. Neben der Ermittlung von Beschäftigungs- und Wertschöpfungseffekten könnte auch eine monetäre Bewertung der erzielbaren ökologischen Effekte vorgenommen werden. In Verbindung mit der Dissemination der hier beschriebenen Ergebnisse könnten belastbare Daten die Voraussetzungen für eine sachliche Diskussion über die Gestaltung der Rahmenbedingungen verbessern und die Festlegung der Höhe erforderlicher Anreize bzw. der Höhe des monetären Ausgleichs für die Erbringung volkswirtschaftlicher und ökologischer Leistungen erleichtern.

2 Ausgangssituation/Motivation des Projektes

Niedrige Preise für Ackerfrüchte haben in Verbindung mit garantierten Einspeisetarifen zwischen 2003 und 2007 zum Bau von ca. 220 Biogasanlagen in Österreich geführt. In der Folge wurden stark steigende Strompreise befürchtet. Deshalb wurde der weitere Ausbau eingeschränkt und die Zahl der Anlagen stagniert seit 2007 bei ca. 300. Wegen des zwischenzeitlichen Anstiegs der Preise für Mais und andere Marktfrüchte schlitterten viele Anlagenbetreiber in wirtschaftliche Probleme. In Deutschland hingegen verdoppelte sich die Anzahl der Biogasanlagen seit 2007 nahezu auf knapp 8000 Anlagen. Da der Anteil von Mais an den genutzten Energiepflanzen über 70% lag, wurde in Gebieten mit hoher Anlagendichte eine „Vermaisung“ der Landschaft beklagt. Trotz der Stagnation des Biogas-Ausbaus in Österreich wurde diese Diskussion auch hier geführt.

Die Biogaserzeugung wird deshalb in der Regel auch in Österreich mit der Kritik konfrontiert, eine Ausdehnung des Maisanbaus zu verursachen und dadurch die Risiken des Ackerbaus für Umwelt und Natur zu erhöhen. Denn wenn die Biomasse-Ertragspotenziale von Mais voll ausgeschöpft werden, erfordert dies entsprechende Pflanzenschutzmaßnahmen und Nährstoffmengen. Gleichzeitig bedingt Maisanbau insbesondere nach Pflugfurche und Schwarzbrache erhöhtes Risiko von Erosion und Humusabbau. Hinzu kommt, dass eine Gefährdung der Ernährungssicherheit befürchtet wird und obwohl der Strompreis im letzten Jahr sogar gesunken ist, beeinflusst auch die Sorge über einen unzumutbaren Anstieg der Energiepreise die Diskussion um die Höhe von Einspeisetarifen. Wegen der Komplexität der Zusammenhänge, die zur aktuellen Entwicklung geführt haben, verwundert es kaum, wenn die Biogaserzeugung in der Öffentlichkeit vor allem kritisch diskutiert wird.

Andererseits wird in Österreich auf ca. einem Drittel der Ackerfläche der Anbau von ZF im Rahmen von ÖPUL gefördert (2013 mit 64,4 Mio Euro), um den Nährstoffaustrag in Grund- und Oberflächenwasser zu vermindern, Erosionsschutz zu betreiben und die Biodiversität zu

verbessern. Obwohl die Effektivität für Wasser- und Erosionsschutz mit zunehmender ZF-Biomassebildung steigt, werden ZF in der Regel nicht zum frühestmöglichen Termin angebaut und bilden häufig nur gering entwickelte oder lückige Bestände bzw. sie werden schon zum frühestmöglichen Termin gemulcht oder umgebrochen, weil Landwirte befürchten, zu viel ZF-Biomasse könnte beim Anbau der Folgekultur Probleme bereiten. Aus diesem Grund ist es naheliegend, ZF nicht einzuarbeiten, sondern für die Biogaserzeugung zu beernten und eine maximale Biomassebildung zu ermöglichen und den positiven ZF-Wirkungen auch jene des Klimaschutzes und der Bereitstellung von erneuerbarer Energie hinzuzufügen.

3 Ziele

Die Arbeiten im Rahmen von Syn-Energy II werden von folgenden übergeordneten Zielen geleitet:

Ausbau der Bioenergieerzeugung durch

- **Ertragssteigerung von konventionellen und biologischen Fruchtfolgesystemen**
- **bei gleichzeitiger Verbesserung der Nachhaltigkeit und**
- **uneingeschränkter Aufrechterhaltung der Ernährungssicherheit**

Wie Beiträge zur gleichzeitigen Erreichung dieser zunächst gegensätzlich erscheinenden Ziele geleistet werden sollen, erschließt sich aus nachfolgenden Teilzielen:

- Steigerung des Fruchtfolgeertrags durch die Nutzung der gesamten Vegetationsperiode,
- Biogaserzeugung vorrangig aus ZF, die sowohl in konventionellen als auch biologischen Fruchtfolgen mit Mulch- und Direktsaattechnik angebaut werden,
- Erschließung von Gülle für die Biogaserzeugung auch in Veredelungsgebieten mit hoher Flächenkonkurrenz durch die Nutzung von ZF als Kosubstrat
- Reduzierung des Risikos von Grundwasserbelastungen, Erosion und Ausgasung klimarelevanter Gase durch die Beerntung der ZF
- Erhöhung des Humusgehalts und Verbesserung der Wasserspeicherkapazität von Ackerböden durch Mulch- und Direktsaat sowie die Rückführung von Gärresten
- Verbesserung der Energieeffizienz und Klimabilanz landwirtschaftlicher Erzeugung durch Stickstofffixierung von Leguminosen-ZF und verringerten Mineraldüngereinsatz sowie eine Verminderung von Auswaschungs- und Ausgasungsverlusten
- Steigerung von Ertrag und Rentabilität des viehlosen biologischen Ackerbaus durch die energetische Nutzung von ZF und Klee gras
- Erprobung verschiedener Ernteverfahren, die auch bei geringen TS-Erträgen pro ha eine rentable Bergung ermöglichen
- Identifikation der Hemmnisse für die praktische Anwendung der experimentell erarbeiteten Lösungen und Weiterentwicklung von Strategien für deren Überwindung

4 ZF-Trockenmasseerträge

4.1 Zwischenfrüchte (ZF) - Pflanzen, zwischen zwei Hauptkulturen

Neben S-ZF, die nach Getreide oder Raps angebaut und im Herbst beerntet werden, kann auch aus W-ZF, die vor Mais, Soja, Kürbis oder Hirse Anfang Mai beerntet werden, Biogas erzeugt werden. Folgt auf Getreide z. B. Mais können S-ZF und W-ZF hintereinander angebaut werden oder Mischungen aus S-ZF und W-ZF (z. B. Landsberger Gemenge) angebaut und sowohl im Herbst als auch im Frühjahr beerntet werden. Auf Standorten mit kürzerer Vegetationsperiode, hoher Erosionsgefährdung und bei biologischer Bewirtschaftung kann der Anbau von S-ZF (z. B. Klee) als Untersaat in Getreide vorteilhaft sein. In den Streifen- und Blockversuchen wurden vor allem Fruchtfolgen mit W-ZF untersucht.



Abb. 1 Bio-Rotkleeuntersaat im Südburgenland 2011 (ca. 6 t TS/ha)

4.2 Vorgehensweise und Methodik

In Güssing (Bgld), Ottstorf bei Thalheim/Wels (OÖ) und Hasendorf bei Leibnitz (Stmk) wurden die im Rahmen des Projektes Syn-Energy angelegten Streifenversuche weitergeführt. Die Versuche in der Umgebung von Bruck/Leitha (Rohrau und Schönabrunn in NÖ) wurden im Vorläuferprojekt "Energiefrüchte am Acker – Feldversuch; Teilbereich Auswirkungen auf die Bodenfruchtbarkeit" (Projektlaufzeit November 2009–Juni 2012) angelegt und ab 18.6.2012 im Rahmen von Syn-Energy II weitergeführt. Der Versuch in Ottstorf musste 2012 eingestellt werden. Stattdessen wurde in Pölla bei Mank (NÖ) ein Versuch zur Herbstdüngung von Grünschnittroggen als Winterzwischenfrucht vor Mais angelegt.

4.3 Winterzwischenfrüchte (W-ZF)



Abb. 2 W-ZF Mischungen; links: W-Erbse, Grünschnittroggen, Inkarnatklee; rechts zusätzlich mit W-Wicke

Die ermittelten Erträge von ZF und Hauptkulturen sind im Anhang dargestellt. In Tab. 1 wurden die ermittelten TS-Erträge nach Ernteterminen gruppiert. Durch die Wahl des Erntetermins und des Düngenniveaus kann in Abhängigkeit vom Witterungsverlauf das erzielbare Ertragsniveau von W-ZF vom Betriebsleiter selbst festgelegt werden, sofern Ende September / Anfang Oktober für den Standort geeignete Pflanzenmischungen angebaut wurden. Als W-ZF mit früher Beerntung wurden in den Versuchen neben Grünschnittroggen, Inkarnatklee und Winter-Erbsen auch Winter-Wicken und Winter-Rübsen angebaut. Bei einer Ernte ab dem 5. Mai sind auch ohne Herbstdüngung Erträge von mehr als 6 t TS/ha möglich. In den letzten April- und ersten Mai-Tagen können Erträge von 3 – 6 t TS/ha erzielt werden. Davor bleiben sie in der Regel unter 3 t TS/ha. Bei niedrigen N_{min} -Gehalten im Herbst dürfte es möglich sein, durch eine bedarfsgerechte Herbstdüngung das Ertragsniveau zu erhöhen. Übersteigt die Düngung den Pflanzenbedarf, vergrößert der überschüssige Stickstoff jedoch das Risiko von Lachgasemissionen und Nitratauswaschung.



Abb. 3 Winterrübsen, Inkarnatklee, Winterwicke, Grünschnittroggen

Tab. 1 W-ZF-Erträge (Durchschnitt, min. max. und ungedüngt in t TS/ha), gruppiert nach Ernteterminen und Erträgen. Mit Ausnahme der höheren Erträge in Pölla wurden W-ZF nur im Frühjahr mit ca. 25 m³ Biogasgülle gedüngt.

Versuchsstandort	Anbauermin	Erntetermin	Durchschnitt (t TS/ha)	min.	max.	ungedüngt
Hasendorf	1.10.2010	26.4.2011	2,8	-	3,8	1,6
Ertragsniveau bei früher Ernte bis 26.4.			2,8	-	3,8	1,6
Mindestertrag bei früher Ernte			2,5			
Hasendorf	23.9.2011	2.5.2012	4,2	2,9	5,5	2,5
Hasendorf	4.10.2013	29.4.2014	4,2	2,6	5,6	3,0
Hasendorf	13.9.2009	3.5.2010	4,5	3,7	5,7	3,6
Güssing	10.10.2013	28.4.2014	5,2	4,2	6,4	3,5
Ertragsniveau bei Ernte zwischen 27.4.-4.5.			4,5	3,4	5,8	3,2
Durchschnittlich erzielbarer Ertrag			4,5			
Ottstorf	28.9.2012	6.5.2012		-	5,2	3,1
Pölla	7.10.2013	6.5.2014	5,0	3,9	5,6	
Schönabrunn Rohrau	1.10.2012	10.5.2013	5,2			
Güssing	1.10.2011	8.5.2012	5,3	4,4	6,6	4,7
Güssing	19.9.2012	9.5.2013	5,5	4,0	6,9	4,6
Hasendorf	21.9.2012	13.5.2013	6,4	4,0	7,4	4,4
Pölla ¹	7.10.2013	6.5.2014	6,4	6,0	6,9	
Pölla ²	7.10.2013	6.5.2014	7,4	7,3	7,5	
Ertragsniveau bei später Ernte ab 5.5.			5,9	4,5	6,4	4,2
Ertrag, der mit optimiertem Verfahren oder unter günstigen Bedingungen erzielbar ist			6,0			

¹ Düngung mit 15m³ Biogasgülle am 2.10.

² Düngung mit 25m³ Biogasgülle am 2.10.

Häufig wird befürchtet, dass die Nutzung von W-ZF zu Wassermangel und Ertragseinbußen bei nachfolgenden Hauptkulturen führen würde. In Tab. 2 sind die Ertragsänderungen bei Mais, Soja und Kürbis zusammengestellt, die in den Versuchen ermittelt wurden. Bei gleichen Anbauerminen konnten mit Ausnahme der Versuche in Schönabrunn und Rohrau keine negativen Auswirkungen festgestellt werden. Durch den Wasserverbrauch der W-ZF bedingte negative Effekte dürften sich auf Böden mit geringem Wasserspeichervermögen und/oder Jahre mit unzureichenden Niederschlägen im März, April oder Mai beschränken. In den Versuchen wurde jedoch festgestellt, dass Ertragseinbußen durch Nährstoffmangel hervorgerufen werden können und insbesondere dann auftreten, wenn W-ZF nicht ausreichend gedüngt werden. Der N-Entzug durch W-ZF variierte jedoch beträchtlich. Die N-Gehalte der W-ZF reichten von 1,3 bis 2,3 % der TS. Dadurch ergibt sich bei einem Ertrag von 4,5 t ein Entzug von ca. 60 bis 100 kg N, der in der Düngeplanung entsprechend zu berücksichtigen ist, damit weder die ZF noch die Folgekultur unter Nährstoffmangel leiden. Zu berücksichtigen ist auch, dass eine Absenkung der N_{min}-Werte auf 10 - 30 kg N / ha (0 – 90 cm) unmittelbar nach der ZF-Ernte gemessen wurde. Das Risiko von Ertragseinbußen steigt jedoch auch, je später ZF beerntet und Folgekulturen angebaut werden. Wobei es bei Auswahl geeigneter Sorten, bedarfsgerechter Düngung und günstiger Niederschlagsverteilung nicht zwangsläufig zu Einbußen kommen muss.

Tab. 2 Auswirkungen der Biogaserzeugung aus W-ZF auf den Ertrag nachfolgender Hauptkulturen im Vergleich zur gleichen Kultur nach Schwarzbrache (V0) oder Gründüngung (V1) mit gleichen oder früheren Anbauterminen

Versuchsstandorte	Kultur	Anbau-termin V0, V1	Anbau-termin nach ZF-Ernte	Ver- schiebung in Tagen	Ernte- termin	Ertrag Mittel V0, V1 (t TS/ha)	Mittel nach ZF beerntet (t TS/ha)	Ertrags- änderung
Hasendorf	Öl-Kürbiskerne	02.05.2011	02.05.2011	0	17.09.2011	0,74	0,77	4%
Pölla	Silomais	07.05.2014	07.05.2014	0	25.09.2014	16,1	17,9	11%
Ottstorf	Soja	07.05.2012	07.05.2012	0	20.09.2012	3,4	3,4	0%
Güssing	Silomais	10.05.2013	10.05.2013	0	06.08.2013	4,8	7	46%
Schönabrunn Rohr.	Körnermais	14.05.2013	14.05.2013	0	21.10.2013	4,95	3,5	-29%
Hasendorf	Soja	16.05.2013	16.05.2013	0	22.09.2013	0,98	1,48	52%
Hasendorf	Silomais	20.05.2014	20.05.2014	0	29.09.2014	18	18,2	1%
Ertragsänderung nachfolgender Hauptkulturen bei gleichem Anbautermin								12%
Hasendorf	Silomais	20.04.2010	04.05.2010	14	10.09.2010	18,3	16,4	-10%
Hasendorf	Silomais	09.04.2012	05.05.2012	26	17.09.2012	21,8	23,6	8%
Ertragsänderung nachfolgender Hauptkulturen bei späterem Anbau bis 5.5.								-1%
Güssing	Silomais	19.04.2011	11.05.2011	22	28.09.2011	26,6	24,3	-9%
Güssing	Silomais	17.04.2014	10.05.2014	23	25.09.2014	7,7	6,3	-18%
Güssing	Soja	03.05.2012	10.05.2012	7	18.09.2012	3,9	3,8	-3%
Ertragsänderung nachfolgender Hauptkulturen bei spätem Anbau um oder nach dem 10.5.								-10%

4.4 Sommerzwischenfrüchte (S-ZF)



Abb. 4 BIOGASMIX im Südburgenland; Ertrag am 29.9.2011 ca. 5 t TS /ha bei Anbau in der letzten Juli-Woche

Die Angaben zum Ertragsniveau von S-ZF basieren vor allem auf Angaben von Praktikern bzw. Ertragsermittlungen, die auf Flächen von kooperierenden Landwirten durchgeführt wurden. Das Ertragsniveau variierte beträchtlich und wurde vor allem durch das Zusammenwirken von Anbauzeitpunkt und Witterungsverlauf mit der Auswahl geeigneter Pflanzenarten und den jeweiligen Bodenverhältnissen sowie der Nährstoffversorgung bestimmt.



Abb. 5 BIOGASMIX nach trockenem Sommer und Anbau am 26.6.2012; Ertrag am 3.10. ca. 7 t TS/ha; Bestandshöhe ca. 1,8m; Leguminosen im Gemenge trockenheitsbedingt großteils ausgefallen; Sudangras-Hybrid und Sonnenblume bestandsdominierend

Bei frühzeitigem Anbau nach der Ernte von Gerste, Raps oder Getreide-Ganzpflanzensilage (GPS) Ende Juni bis Mitte Juli wurden bei günstiger Niederschlagsverteilung Erträge von 5 - 7 t TS/ha erreicht. Beim Anbau nach Weizen Mitte bis Ende Juli lagen die Erträge im Oktober bei ca. 3 - 5 t TS/ha. Bei ungünstigem Witterungsverlauf oder bei Anbau im August verringerten sie sich auf 2 - 3 t TS bzw. Die Bestände waren in einigen Fällen nicht erntewürdig. Bei extrem trockenem und heißem Juli wie 2013 sinkt die Ertragserwartung auch bei frühem Anbau entsprechend. Wenn das Saatgut vor Einsetzen der Trockenheit nur ankeimt, kann es auch bei frühem Anbau sogar zu Totalausfällen kommen. Zur Risikostreuung ist deshalb eine Staffelung der Anbautermine empfehlenswert. ZF-Gemenge, deren Mischungspartner unterschiedliche Klimabedingungen bevorzugen (z. B. BIOGASMIX: Sudangras-Hybrid, Sonnenblume, Futtererbse, Klee, Wicke, Phacelia) erhöhten die Ertragssicherheit, weil z. B. Erbsen bei feuchter und kühler Witterung gut gedeihen und Sudangras ausreichende Wärme benötigt, dafür in der Hauptwachstumsphase mit weniger Niederschlag besser zurechtkommt. Biogasanlagenbetreiber berichteten, dass Gemenge mit Blühpflanzen einen erfreulichen Nebeneffekt hatten: Die Flächen wurden zum Blütenmeer, das nicht nur Bienen, Hummeln und Schmetterlinge anzog, sondern auch Anrainer begeisterte. In den Gemengen

enthaltene Leguminosen ermöglichten eine Reduzierung der Düngung. Negative Effekte für nachfolgende Hauptkulturen wurden nur in einem Fall festgestellt: Es wurde nach pfluglosem Anbau verabsäumt im Weizen Gräser aus der vorhergehenden S-ZF zu bekämpfen.



Abb. 6 Alexandrinerkleeblüte mit Marienkäfer; Sonnenblume mit Biene und Schmetterling

4.5 Durchschnittlich erzielbarer Zwischenfrucht-Ertrag

Wegen der hohen Variabilität der Erträge sowohl in den Versuchen als auch beim Anbau durch Kooperationslandwirte ist es nicht sinnvoll, die weiteren Berechnungen und Bewertungen nur mit einem Durchschnittswert durchzuführen. Neben dem Umgang mit der Variabilität würde sich bei einer umfangreichen statistischen Analyse auch die Frage stellen, welche Ergebnisse bei der Ermittlung eines Durchschnittswertes mit welcher Gewichtung herangezogen werden sollten und wie Bestände zu berücksichtigen sind, die in Folge ungünstigem Witterungsverlaufs oder in Folge von Managementfehlern nicht erntewürdig waren.

Deshalb wird im Folgenden mit drei Ertragswerten (2,5, 4,5 und 6,0 t TS/ha) gearbeitet, die aus den Ergebnissen der Streifenversuche abgeleitet wurden (Tab. 1). 2,5 t bildet einen Ertragsbereich ab, der auf den meisten Flächen mit relativ hoher Wahrscheinlichkeit erreichbar ist und der mit Grünlandtechnik in angemessener Weise beerntet werden kann. Ein Ertrag von 4,5 t / ha dürfte mit optimalem Management auf einem Großteil österreichischer Ackerflächen erreichbar sein, wenn das Pflanzenwachstum nicht durch extreme Witterungsverläufe beeinträchtigt wird. Bei frühem Anbau von S-ZF, günstiger Niederschlagsverteilung und weitgehend optimiertem Verfahren sowie bei spät beernteten W-ZF wurden auch Erträge von mehr als 6 t TS / ha erreicht. Zur Abbildung des oberen Bereichs erzielbarer Erträge wird deshalb auch ein Ertragswert von 6,0 t TS /ha in die weiteren Bewertungen einbezogen.

5 Methanerträge

Insgesamt wurden 27 Batchgärversuche (24 W-ZF; 3 S-ZF) mit je 2 Wiederholungen durchgeführt. Zwei Versuche der Serie aus 2013 erbrachten unerklärlich niedrige Werte. Bei der Wiederholung eines der beiden Versuche ergab sich ein höherer Wert. Deshalb wurden die

beiden niedrigen Werte in der weiteren Auswertung nicht berücksichtigt. Zusätzlich wurden 98 Futterwertanalysen mit Auswertung nach Baserga durchgeführt. Zur Ermittlung durchschnittlicher Methangehalte wurden auch die Ergebnisse von 8 W-ZF und 9 S-ZF aus Syn-Energy sowie 17 von S-ZF aus dem Vorprojekt des Energiepark Bruck/Leitha herangezogen. Die Batchgärversuche ergaben im Durchschnitt niedrigere Methanerträge als die Versuche in Syn-Energy oder im Projekt „Energiefrüchte am Acker“ (siehe Anhang Tab. 3 u. Tab. 13). Das gewichtete Mittel von S-ZF beträgt 310 NI/kg oTS bzw. 278 NI/kg TS. Der oTS-Gehalt von W-ZF war etwas höher als bei S-ZF. Das gewichtete Mittel von W-ZF beträgt deshalb 304 NI/kg oTS bzw. 281 NI/kg TS. Im Mittel von S-ZF und W-ZF ergeben sich Methanerträge von 307 NI/kg oTS bzw. 280 NI/kg TS und ein Methanertrag von ca. 1260 Nm³/ha bei 4,5 t TS/ha. Mit ZF-Erträgen von 2,5 t TS/ha können ca. 700 Nm³ CH₄/ha und mit gut entwickelten ZF (6 t TS/ha) ca. 1680 Nm³ CH₄/ha erzeugt werden.

Tab. 3 Mittelwerte und gewichtete Mittelwerte der Methanerträge bezogen auf organische TS und TS sowie Methanerträge pro ha bei 4,5 t TS/ha

Bachgärversuche Mittelwerte	Projekt	Anzahl Proben	Methan-Ertrag oTS [NI/kg oTS]	Methan-Ertrag TS [NI/kg TS]	Methan-Ertrag bei 4,5 t TS/ha [Nm ³ /ha]
S-ZF 2012-2013	Syn-Energy II	2	281	259	1170
S-ZF 2009-2011	Syn-Energy	9	289	262	1180
S-ZF Boku 2010 (ohne Zuckerhirse)	Energiefrüchte am Acker (Energiepark Bruck/Leitha)	17	324	289	1300
S-ZF gesamt (Mittel gewichtet)		28	310	278	1250
2012-2014	Syn-Energy II	23	295	274	1230
2009-2011	Syn-Energy	8	329	302	1360
W-ZF gesamt (Mittel gewichtet)		31	304	281	1260
ZF gesamt (Mittel gewichtet)		59	307	280	1260
Methan-Ertrag bei 2,5 t TS/ha					700
Methan-Ertrag bei 6 t TS/ha					1680

Mit 1260 Nm³ Methan/ha können je nach Wirkungsgrad des Blockheizkraftwerks ca. 5000 kWh_{el.} und ca. 6000 kWh_{th.} erzeugt werden. Ein ha durchschnittlich entwickelter ZF reicht somit aus, um den gesamten Strom- und ca. die Hälfte des Raumwärmebedarfs eines durchschnittlichen 4-Personenhaushalts zu decken.

6 Auswirkungen der ZF-Nutzung auf Humusgehalt und Bodenfruchtbarkeit

6.1 Vorgehensweise und Methodik

Die Methode der Humusbilanzierung ermöglicht ausgehend von der Kenntnis der Bewirtschaftung und Fruchtfolge und der Inputs und Abfuhr an organischem Material zum bzw. vom betreffenden Feldschlag die Errechnung der zu erwartenden Veränderungen der Humusvorräte des Bodens. Dabei wird die Humuszufuhr durch organische Dünger, Stroh, Gründüngung und humusmehrende Kulturen dem fruchtartspezifischen Humusabbau gegenübergestellt. Die standortangepasste Humusbilanzierungsmethode STAND berücksichtigt

darüber hinaus noch den standörtlichen Einfluss von Bodenart, Durchschnittstemperatur und Niederschlag auf den Humushaushalt. Um den Beitrag der Wurzelbiomasse von ZF zum Humusaufbau zu bewerten, wurde zunächst die wissenschaftliche Literatur ausgewertet. Exemplarisch wurde die Auswirkung einer ZF zur Einarbeitung am Feld mit der einer ZF zur Biogasnutzung auf die Humusreproduktion verglichen. Weiters wurden i) Humusbilanzen aller Versuchsstandorte im Projekt mit den tatsächlichen Bewirtschaftungsdaten und Fruchtfolgen, ii) Humusbilanzen von Muster-Feldfrüchten und iii) Humusbilanzen typischer Praxisfruchtfolgen (insbesondere bei viehloser biologischer Bewirtschaftung) errechnet.

6.2 Humusnachlieferung bei unterschiedlicher ZF-Biomassebildung und Nutzung

Die Humusbilanzen zeigen, dass eine etwas höhere Humusreproduktion erzielt wird, wenn ZF zuerst fermentiert werden und dann in Form von Biogasgülle auf den Acker zurückkommen, als bei direkter Einarbeitung als Gründüngung. Durch die Umsetzung leicht abbaubarer Anteile der ZF-Biomasse in der Biogasanlage hat die entstehende Biogasgülle einen etwas höheren Humusreproduktionswert als die ursprüngliche ZF. Außerdem gelangt bei Begrünungen oft nicht der gesamte Kohlenstoff (C) der oberirdischen Biomasse in den Boden. Bei überwinternden Begrünungen können fast 50 % als gasförmige Verluste in die Atmosphäre verloren gehen. Die positiven Wirkungen der Wurzeln, Wurzelauausscheidungen und Bodenruhe für den Bodenhumus bleiben auch bei ZF zur Biogasnutzung bestehen, wobei ZF, die zur Biogaserzeugung angebaut werden, oft deutlich mehr Biomasse und damit auch Wurzelmasse produzieren als Bestände, die „nur“ zur Gründüngung angebaut werden.

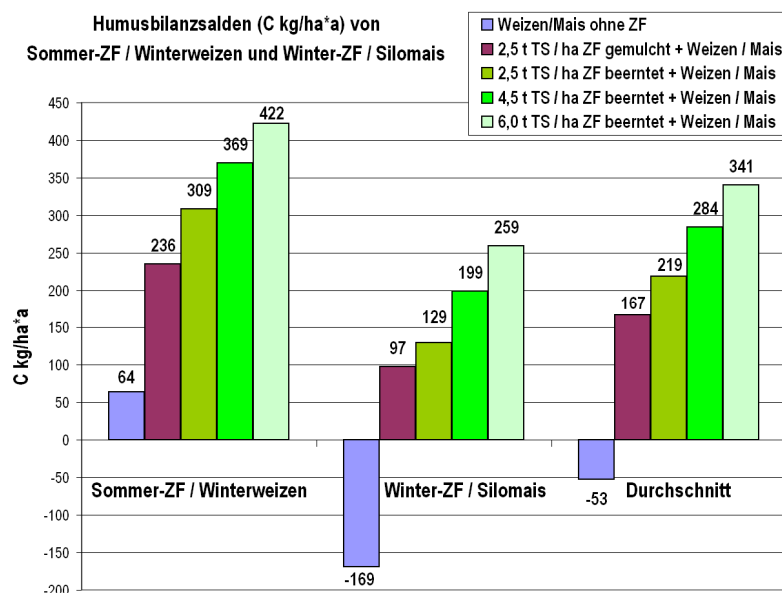


Abb. 7 Humusbilanzsaldo (C kg/ha*a) für S-ZF / Winterweizen, W-ZF / Silomais und im Durchschnitt. Bei Silomais (15 t/ha TM) wurde die Rückführung von 40 m³ Rindergülle angenommen. Bei Weizen verbleibt das Stroh auf der Fläche.

Die Humuswirkung von ZF hängt stark vom jeweiligen Boden und Klima ab. Auf Böden mit relativ weiten C/N-Verhältnissen und geringer bis durchschnittlicher Umsetzungsaktivität führt Gründüngung zu einer mäßigen bis deutlichen Verbesserung der Humusversorgung. Auf sehr umsetzungsaktiven Lehm Böden hingegen kann es durch die Bodenbearbeitung für

die ZF und die Stimulierung des Humusumsatzes durch die Zufuhr leicht abbaubarer organischer Substanz sogar zu einem leichten Humusabbau kommen. Die Humuswirksamkeit der ZF verringert sich, wie bei allen organischen Düngern, mit zunehmender Menge, weil der Abbau umso stärker angeregt wird, je mehr Biomasse dem Boden zugeführt wird.

Durch diese Faktoren ergeben sich je nach Standort, Fruchtfolge und Biomassemenge etwa gleiche bis deutlich positivere Humusbilanzsalden (im Durchschnitt ca. 30 % bei gleicher Biomassebildung), wenn die ZF für die Biogaserzeugung verwendet wird und erst als Biogasgülle wieder aufs Feld kommt (siehe Abb. 7). Bei einer höheren TM-Bildung (statt 2,5 bei Gründüngung 4,5 t/ha bei Beerntung) verbessert sich der Saldo um ca. 70 %. Bei sehr gut entwickelten Beständen kann es zu einer Verdopplung gegenüber der Gründüngung kommen. Im Vergleich zur Schwarzbrache wird die Humusbilanz durch den Anbau einer ZF zur Gründüngung mit 2,5 t TS/ha um mehr als 200 kg/ha*a verbessert.

Durch die Biogaserzeugung aus ZF können somit nicht nur bei Fruchtfolgen mit Schwarzbrache, sondern auch bei konsequentem ZF-Anbau zur Gründüngung und ökologischer Betriebsführung Verbesserungen für den Humusgehalt im Boden erreicht werden.

7 Auswirkungen auf Wasserhaushalt sowie Klima-, Erosions- und Wasserschutz

7.1 Vorgehensweise und Methodik

Auf allen Versuchsstandorten (Hasendorf, Güssing, Ottstorf, Rohrau, Schönabrunn, Pölla) wurden mehrmals jährlich Bodenproben aus den Tiefenstufen 0-30 cm, 30-60 cm und 60-90 cm entnommen und auf den Gehalt an mineralischem Stickstoff (N_{min}) untersucht. Des weiteren wurde an den Versuchsstandorten in Güssing, Ottstorf und Hasendorf eine vollautomatische Absauganlage zur Gewinnung von Bodenwasser, bestehend aus Saugkerze, Vakuumpumpe und Sammelflasche installiert. Die Messungen dienten der Anpassung des kombinierten Bodenwasserhaushalts-Stofftransportmodells STOTRASIM an die Standortbedingungen. Das Modell dient zur Ermittlung der Stickstoffausträge, der Sickerwasserbildung und der Quantifizierung der Stickstoffflüsse. Zusätzlich wurden Daten zum Bewirtschaftungsmanagement und Klima laufend erhoben und in das Modell eingepflegt.

Die Abschätzung der Lachgasemissionen erfolgte auf Basis jener Modelle, welche bereits im Vorprojekt „Syn-Energy“ entwickelt wurden (siehe Anhang). Als Eingangsdaten wurden die Messungen aus den Versuchen bzw. Modellergebnisse (STOTRASIM) verwendet. Im Projekt konnten keine N_2O -Messungen durchgeführt werden.

Die Erosionsberechnung erfolgte anhand des Programms BoBB (Bodenerosion, Beratung, Berechnung; download unter <http://baw.at/index.php/ikt-download/1679-erosionsberechnungstool-bobb.html>). BoBB basiert auf einer leicht veränderten Form der Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE). Dadurch ist eine genauere Erfassung von Bewirtschaftungsmanagement und der Bearbeitung der Feldfrüchte möglich. Um den Einfluss der ZF auf die Erosion in der Berechnung bewerten zu können, wurde der Bodenbedeckungsgrad der ZF in den Versuchen mittels Fotos dokumentiert, ausgewertet und für die Berechnung herangezogen.

7.2 Lachgasemissionen

Lachgas (N_2O) wird von Ackerböden in höherem Maße emittiert, wenn sie oberflächennah eine hohe Wassersättigung bzw. niedrige Sauerstoffverfügbarkeit aufweisen und gleichzeitig leicht abbaubare organische Substanz und/oder mineralischer Stickstoff verfügbar sind. Bei leichten Böden mit einer hohen Sickergeschwindigkeit und guter Durchlüftung ist deshalb in der Regel mit niedrigeren Emissionen zu rechnen als auf mittleren und schweren Böden. Zur Berechnung der N_2O -Emissionen wurden zwei statistische Modelle verwendet. In das Modell für Schwarzbrache gehen nur der Sand-, Ton- und Wassergehalt ein. In das Modell für Gründüngung und ZF zur Biogaserzeugung gehen zusätzlich der Stickstoffgehalt von oberirdischem Pflanzenmaterial, das auf dem Feld verbleibt, und die Stickstoff-Düngung in die Berechnung ein. Bei der Interpretation der Ergebnisse ist zu berücksichtigen, dass dieses zweite Modell im Vergleich zum ersten bei gleichem Boden und Wassergehalt auf mittleren und schweren Böden von höheren Emissionen ausgeht, auch wenn die Eingangsparameter für vorhandenes Pflanzenmaterial und Düngung auf Null gesetzt werden. Bei mittleren Böden erhöhen sich die Emissionen gegenüber dem Modell für Schwarzbrache um mehr als 100 % (z. B. von 1,3 auf 2,7 kg N_2O -N/ha*a). Bei schweren Böden wird von einer Erhöhung von ca. 85 % ausgegangen (z. B. von 2,0 auf 3,7 kg N_2O -N/ha*a). Bei leichten Böden ist die Erhöhung mit ca. 10 % wesentlich geringer (z. B. von 1,0 auf 1,1 kg N_2O -N/ha*a). Das hat zur Folge, dass ZF, die zur Biogaserzeugung beerntet werden, den Wassergehalt auf schweren und mittleren Böden um ca. 15 % (z. B. von 38 % auf 32 %) senken müssten, um das Niveau der N_2O -Emissionen gegenüber der Schwarzbrache nicht zu steigern. Bei leichten Böden ist bereits eine Absenkung von einem Prozent ausreichend, um Emissionen auf dem Niveau der Schwarzbrache zu halten. Inwieweit diese Erhöhung der N_2O -Emissionen durch Ernterückstände und Wurzelsysteme der beernteten ZF auf mittleren und schweren Böden zutreffend ist, wäre in weiteren Untersuchungen zu verifizieren.

Bei der Interpretation der Ergebnisse ist außerdem zu berücksichtigen, dass die Feldversuchsmessungen durch Abschätzung einzelner Eingangsparameter ergänzt werden mussten, um durchschnittliche Verhältnisse zu erhalten. Zu berücksichtigen ist auch, dass das Niederschlagsniveau auf leichten Böden mit 927 mm höher war als auf mittleren (750 mm) und schweren Böden (710 mm). Um die Auswirkungen der ZF-Nutzung auf die gesamte Fruchtfolge bewerten zu können, wurden mit den statistischen Modellen auch Schätzungen für die Hauptkulturen (Winterweizen, Silomais) vorgenommen.

Auf leichten Böden lagen die N_2O -Emissionen zwischen 0,3 und 1,1 kg N_2O -N /ha*a, auf mittleren Böden zwischen 0,6 und 2,5 kg N_2O -N /ha*a und auf schweren zwischen 2,0 und 4,1 kg N_2O -N /ha*a (siehe Abb. 8 und Abb. 9). Die Emissionen von Winterweizen erreichten 1,5 - 3,5 kg N_2O -N /ha*a und die von Silomais 1,2 - 4,2 kg N_2O -N /ha*a.

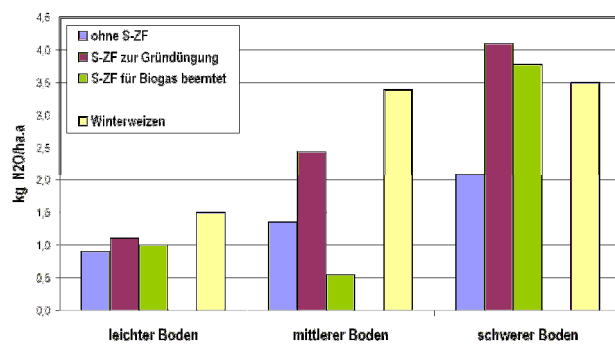


Abb. 8 N₂O-Emissionen S-ZF, Weizen (kg N₂O-N /ha*a)

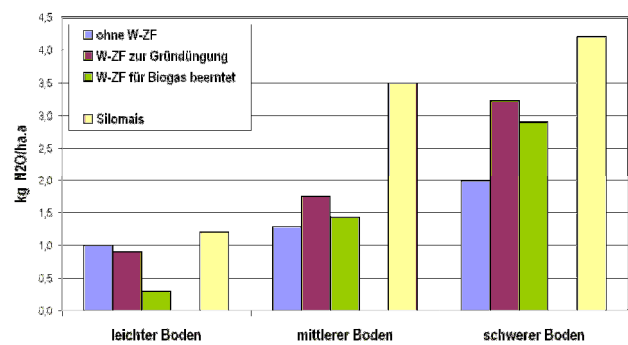


Abb. 9 N₂O-Emissionen W-ZF, Mais (kg N₂O-N /ha*a)

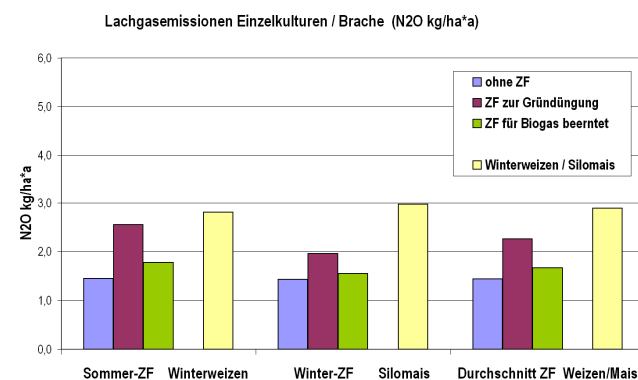


Abb. 10 N₂O-Emissionen-Mittelwerte S-ZF, W-ZF, Brache, Winterweizen und Silomais (kg N₂O-N /ha*a)

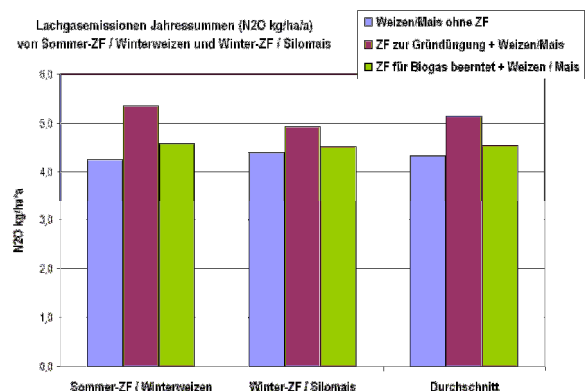


Abb. 11 Summe N₂O-Emissionen von S-ZF und Weizen sowie W-ZF und Mais (kg N₂O-N /ha*a)

Die Lachgasemissionen der Varianten mit beernteten ZF waren in allen Fällen niedriger als bei Einarbeitung als Gründüngung. Im Durchschnitt über die drei untersuchten Böden und die beiden Fruchtfolgen betrug die Absenkung ca. 25 % von 2,3 auf 1,7 kg N₂O-N /ha*a (siehe Abb. 10). Im Vergleich zur Schwarzbrache (durchschnittlich 1,4 kg N₂O-N/ha*a) kam es zu einer Erhöhung um ca. 15 %. Durch die Gründung erhöhten sich die Emissionen gegenüber der Schwarzbrache jedoch im Durchschnitt um ca. 55 %.

Die relativen Unterschiede zwischen Schwarzbrache, Gründüngung und ZF für die Biogas-erzeugung fallen in der Betrachtung des gesamten Jahres geringer aus. Im Falle der Beerntung der ZF reduzierten sich die Emissionen im Durchschnitt gegenüber der Gründüngung um ca. 12 % von 5,1 auf 4,5 kg N₂O-N /ha*a. Im Vergleich zur Schwarzbrache kommt es zu einer Erhöhung um ca. 5 % von 4,3 auf 4,5 kg N₂O-N /ha*a. Die Steigerung der Emissionen durch die Gründüngung gegenüber der Schwarzbrache beträgt knapp 20 %.

7.3 Erosion

In Fruchtfolgen mit S-ZF und Wintergetreide/Raps wird die Erosion durch den Anbau einer ZF zur Gründüngung um ca. 25 % im Vergleich zu einer Schwarzbrache verringert (siehe Abb. 12). Werden ZF beerntet und die Fläche danach gepflügt, bleibt der Erosionsschutzeffekt gegenüber einer Gründüngung nahezu unverändert, auch wenn von der ZF mehr Biomasse gebildet wurde. Wird jedoch beim Anbau der folgenden Hauptfrucht auf den Pflug verzichtet, verringert sich die Erosion im Vergleich zur Gründüngung um 50 – 60 %, im Vergleich zur Schwarzbrache um 60 – 70 %. Pfluglose Bewirtschaftung ist im Falle einer Beerntung der ZF eher möglich als bei Schwarzbrache und Gründüngung, weil der

Unkrautdruck niedriger ist und auch bei hoher Biomassebildung der ZF nur wenig Erntereste auf der Fläche verbleiben, die für Anbau und Entwicklung der Folgekultur problematisch sein könnten.

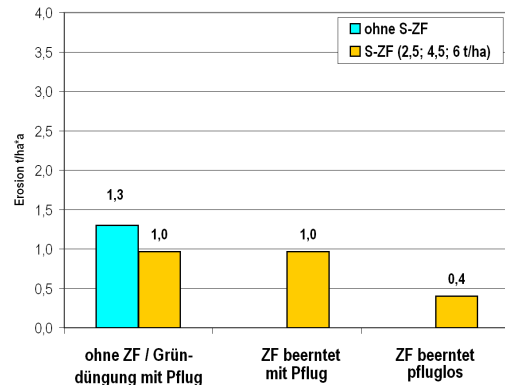


Abb. 12 jährliche Erosion in t/ha bei Winterweizen ohne S-ZF und Pflug, mit S-ZF zur Gründüngung und Pflug sowie S-ZF beerntet für Biogas mit und ohne Pflug (Neigung 3 %, Länge 100 m, Größe 1ha)

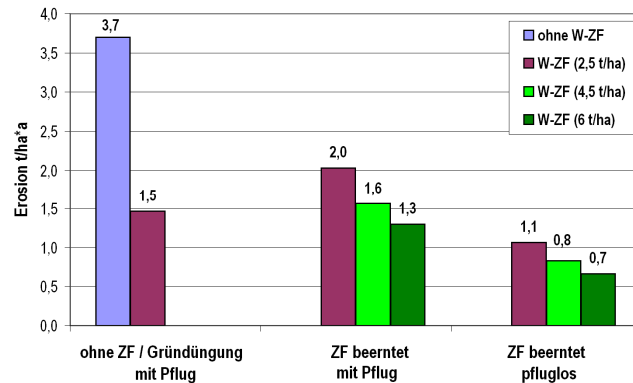


Abb. 13 jährliche Erosion in t/ha bei Silomais ohne W-ZF und Pflug, mit W-ZF zur Gründüngung und Pflug sowie W-ZF beerntet für Biogas mit und ohne Pflug und unterschiedlicher Biomassebildung (Neigung 3 %, Länge 100 m, Größe 1ha)

Eine noch stärkere Reduktion der Erosion wird durch W-ZF insbesondere vor Mais erzielt (Abb. 13). Grund dafür ist der längere Zeitraum zwischen den Hauptkulturen (Mais, Soja, Kürbis), welcher ansonsten unbegrünt bleibt und für die Erosion anfällig ist sowie die späte Bodenbedeckung durch die Hauptkulturen. Durch den Anbau einer Gründüngung wird die Erosion daher um ca. 60 % verringert (siehe Abb. 13). Wird die ZF beerntet, ist eine gleichbleibende bis leicht positivere Wirkung gegeben, wenn eine ZF-Biomasse von ca. 4,5 t TS/ha erreicht wird. Bei gleicher Biomassebildung wie im Falle der Gründüngung ist der Erosionsschutz allerdings niedriger, weil nach der Ernte weniger Material auf der Fläche verbleibt als auf gemulchten Flächen. Eine Verringerung der Erosion um 25 % ist auch bei gleicher Biomassebildung gegeben, wenn auf den Pflug verzichtet wird. Bei höherer Biomassebildung sinkt die Erosion im Vergleich zur Gründüngung um bis zu 55 %. Im Vergleich zur Schwarzbrache reduziert sich die Erosion bei pflugloser Bewirtschaftung um 70 – 80 %. Die absolute Höhe der Erosion ist stark vom Schluffgehalt des Bodens abhängig, da dieser die höchste Erodierbarkeit aufweist. Die detaillierten Ergebnisse sind im Anhang ersichtlich.

7.4 Nitratauswaschung

Die laufend durchgeführten Untersuchungen von Bodenproben zeigen, dass der $N_{\min}$ -Gehalt unter Schwarzbrache generell höher ist als unter ZF, weil kein N von Pflanzen aufgenommen wird. Deshalb ist das Auswaschungsrisiko im Falle der Schwarzbrache höher. ZF reduzieren durch ihr Wachstum den $N_{\min}$ -Gehalt. Ihre Einarbeitung kann die Werte im Vergleich zur Ernte und Abfuhr des Pflanzenmaterials jedoch wieder erhöhen, wenn die Biomasse auf und im Boden abgebaut wird. Im Durchschnitt ist der $N_{\min}$ -Gehalt bei einer Gründüngung um 5 – 10 % niedriger als unter Schwarzbrache, ein Abernten der ZF senkt den Gehalt hingegen um 25 % bis teilweise 40 % (siehe Anhang). Die Durchschnittswerte für den N-Austrag von Fruchtfolgen mit S-ZF und Wintergetreide/Raps und W-ZF mit Mais/Soja/Kürbis wurden von den Modellierungsergebnissen der Standorte Güssing (schwerer Boden), Ottstorf/Thalheim und Pölla (mittlerer Boden) sowie Hasendorf (leichter Boden) abgeleitet.

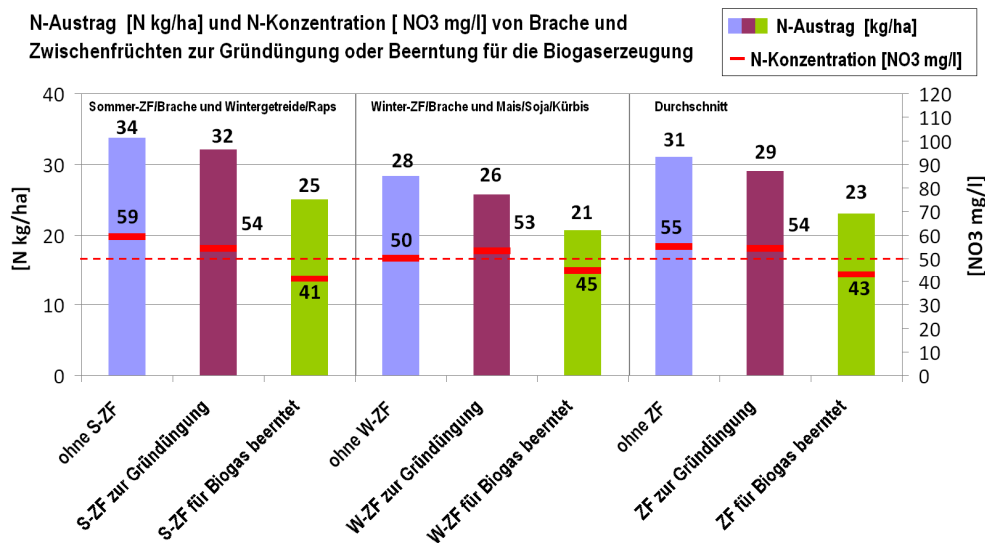


Abb. 14 Stickstoffaustrag und Nitratkonzentration in Fruchtfolgen mit S-ZF/Schwarzbrache und Wintergetreide/Raps sowie mit W-ZF/Schwarzbrache und Mais/Soja/Kürbis; arithmetisches Mittel beider Fruchtfolgevarianten

Die Modellierung ergab, dass die Grundwasserneubildung mit steigender Biomassebildung abnimmt. Unter W-ZF wird daher bei etwa gleichbleibender bis teilweise leicht höheren N-Konzentrationen in Summe weniger N ausgewaschen. Wird die ZF beerntet, wird trotz zusätzlicher Düngung ebenfalls weniger N ins Grundwasser verlagert. Auf leichten Böden im Trockengebiet ist das Ertragsniveau niedriger, sodass auch die Düngung entsprechend reduziert und möglichst exakt an den Pflanzenbedarf angepasst werden muss. Mit S-ZF wird die Stickstoffauswaschung auf allen Böden sowohl durch Gründüngung als auch Beerntung verringert. Durch den Anbau von S-ZF-Gemengen mit Leguminosen war keine oder nur minimale zusätzliche Düngung erforderlich.

Der Anbau von ZF ist somit jedenfalls als positiver Beitrag für den Grundwasserschutz zu werten. Eine Beerntung verringert die Stickstoffauswaschung zusätzlich, wenn die ZF bedarfsgerecht gedüngt wird. Insbesondere bei der Düngung von W-ZF im Herbst, sollte die Düngemenge unter Berücksichtigung des $N_{\min}$ -Vorrats im Boden das N-Aufnahmevermögen der Pflanzen vor der Auswaschungsperiode jedoch nicht übersteigen. Der Einfluss der Bodenbearbeitungsintensität (Grubbern-Pflügen) auf die Stickstoffauswaschung ist laut Modellrechnung als gering einzustufen. Bei einer Erhöhung der Intensität um 35% ergibt sich eine Erhöhung der Austräge um 1%. Die detaillierten Ergebnisse sind im Anhang zu finden.

8 Energiebilanzen und ökologischer Fußabdruck

8.1 Vorgehensweise und Methodik

Energiebilanzen wurden für die Nutzung als Treibstoff (Biomethan als Ersatz für CNG - Compressed Natural Gas) mit einer Verdichtung auf 200 -260 bar erstellt. In den Energiebilanzen wurden der Treibstoffbedarf (Anbau, Ernte, Transport der ZF) sowie der Energiebedarf der Biogasanlage (BGA), Methanaufbereitung und Verdichtung dem Energieertrag pro ha gegenübergestellt und das Verhältnis von Bruttoenergieertrag zum Eigenenergiebedarf ermittelt (EROI Energy Return on Energy Invested). Die Bilanzen wurden mit Durchschnittswerten aus

der Literatur erstellt. Es wurden Bilanzen für ZF-Erträge von 1 – 7 t TS/ha erstellt. Wegen der hohen Bandbreite des Energiebedarfs wurden auch für diesen Minimal- und Maximal-Werte angesetzt und erst von den Endergebnissen Durchschnittswerte errechnet.

Die Beschreibung der Methodik zur Ermittlung des ökologischen Fußabdrucks würde den Rahmen dieses Berichtes sprengen, wesentlich ist jedoch, dass er konsequent auf natürliche Umweltqualitäten abstützt und strenge Nachhaltigkeitskriterien zur Berechnung heranzieht.

Weiters erlaubt dieses Maß die Unterscheidung zwischen fossilen, nuklearen und erneuerbaren Energieformen. Die Berechnungen nach dem SPI-Konzept ergeben einen Fußabdruck, der jene Fläche darstellt, die notwendig ist, um die Erzeugung einer Produkteinheit mit ihren Rohstoffbedarfen und ihren Emissionen nachhaltig in die Ökosphäre einzupassen. Je größer der Fußabdruck desto weniger nachhaltig ist die Bereitstellung des Produktes oder der Dienstleistung. Die praktische Durchführung der Bewertung erfolgte dabei mit dem web-basierten Rechenwerkzeug SPIONWeb (<http://spionweb.tugraz.at>). Dieses Rechen-Tool verfügt über eine umfangreiche Datenbank und ist in der Lage, komplexe und vernetzte Produktionssysteme mit Hilfe einer grafischen Benutzeroberfläche aufzubauen und zu bewerten.

Im Rahmen des Projektes wurde für verschiedene Varianten Lebenszyklen in eigenen Prozessketten abgebildet, wobei für die landwirtschaftlichen Produktionsschritte bereits auf bewährte Modelle zurückgegriffen werden konnte. Für die im Rahmen des Projektes vermessenen Umweltdrücke durch Erosion, Emissionen von Lachgas (N_2O) und Nitrat (NO_3), ebenso wie für den mitigierenden Effekt des Humusaufbaues auf die Treibhausgasemissionen wurden neue Wirkungsmodelle entwickelt.

8.2 Energiebilanzen – Vergleichende Bewertung der Energieeffizienz

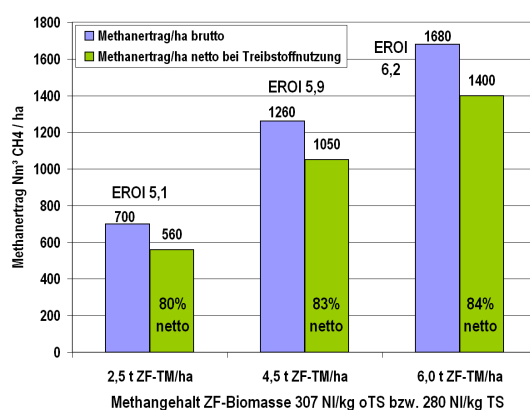


Abb. 15 Brutto und Netto-Methanerträge von 2,5, 4,5 und 6,0 t ZF-TM und EROI; Netto-Erträge nach Verdichtung von Biomethan auf ca. 250 bar

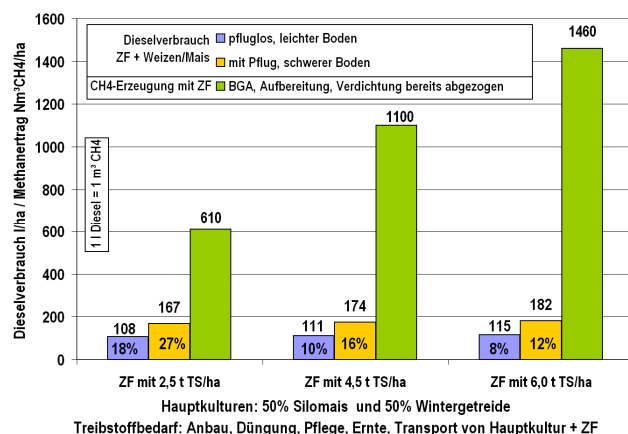


Abb. 16 Vergleich des Treibstoffbedarfs für Anbau, Düngung, Pflanzenschutz, Ernte, Transport von Hauptkultur und ZF mit dem Energieertrag von ZF (Energiebedarf für die Biogasanlage, Biogasaufbereitung und Verdichtung bereits abgezogen)

Bei 4 – 5 t TS / ha und Methangehalten von ca. 280 NI/kg TS können ca. 1260 Nm³ CH₄/ha brutto erzeugt werden. Davon verbleiben nach Abzug des Energiebedarfs für Anbau, Ernte, Transport, Biogasfermentation, Biogasaufbereitung und Verdichtung ca. 83 % bzw. 1050 Nm³ CH₄/ha (siehe Abb. 15). Das entspricht einem EROI von 5,9, d.h. es wird 5,9mal mehr Energie erzeugt als für die Produktion aufgewendet wird. Bei einem TS-Ertrag von 2,5 t

TS/ha beträgt er 5,1: Vom Bruttoenergieertrag ($700 \text{ Nm}^3 \text{ CH}_4/\text{ha}$) verbleiben ca. 80 % bzw. $560 \text{ Nm}^3 \text{ CH}_4/\text{ha}$ für andere Nutzungen. Bei hohen Erträgen von 6,0 t TS/ha beträgt der EROI 6,2: Vom Bruttoenergieertrag ($1680 \text{ Nm}^3 \text{ CH}_4/\text{ha}$) verbleiben netto ca. 84 % bzw. $1400 \text{ Nm}^3 \text{ CH}_4/\text{ha}$.

Ergänzend wurde der Treibstoffbedarf für Anbau, Düngung, Pflanzenschutz, Ernte, Transport von Hauptkultur und ZF mit dem Energieertrag der ZF verglichen (Siehe Abb. 16). Für Hauptkulturen wurde der Mittelwert des Treibstoffbedarfs von Silo-Mais und Wintergetreide angesetzt jeweils mit konventioneller Bodenbearbeitung und Pflug sowie mit pflugloser, konservierender Bodenbearbeitung. Vom Bruttoenergieertrag der ZF wurde für den Vergleich der durchschnittliche Energiebedarf für die Biogasanlage, Biogasaufbereitung und Verdichtung abgezogen. Bei einem ZF-Ertrag von 4,5 t TS/ha sind 10 – 16 % des bereitgestellten Biomethans für den Treibstoffbedarf von Hauptkultur und ZF ausreichend. In Fruchtfolgen mit Wintergetreide und Raps sind bei pflugloser Bewirtschaftung schon 7 % ausreichend. Bei einem ZF-Ertrag von 2,5 t TS/ha werden 18 – 27 % zur Erzeugung von ZF und Hauptkultur benötigt. Bei einem ZF-Ertrag von 6 t TS/ha sinkt der zur Eigenversorgung benötigte Anteil auf 8 – 12 %.

Die Energieeffizienz von Biomethan als Treibstoff wurde mit Bioethanol aus Weizen und Biodiesel aus Raps verglichen (siehe Abb. 17). Beim Vergleich der Fahrleistung, die mit dem Bruttoenergieertrag pro ha erzielt werden kann, erreichen gut entwickelte ZF-Bestände das Niveau von Bioethanol. Bei durchschnittlich entwickelten ZF ist die Fahrleistung ca. 25 % niedriger als bei Ethanol und ca. 35 % niedriger als bei Biodiesel.

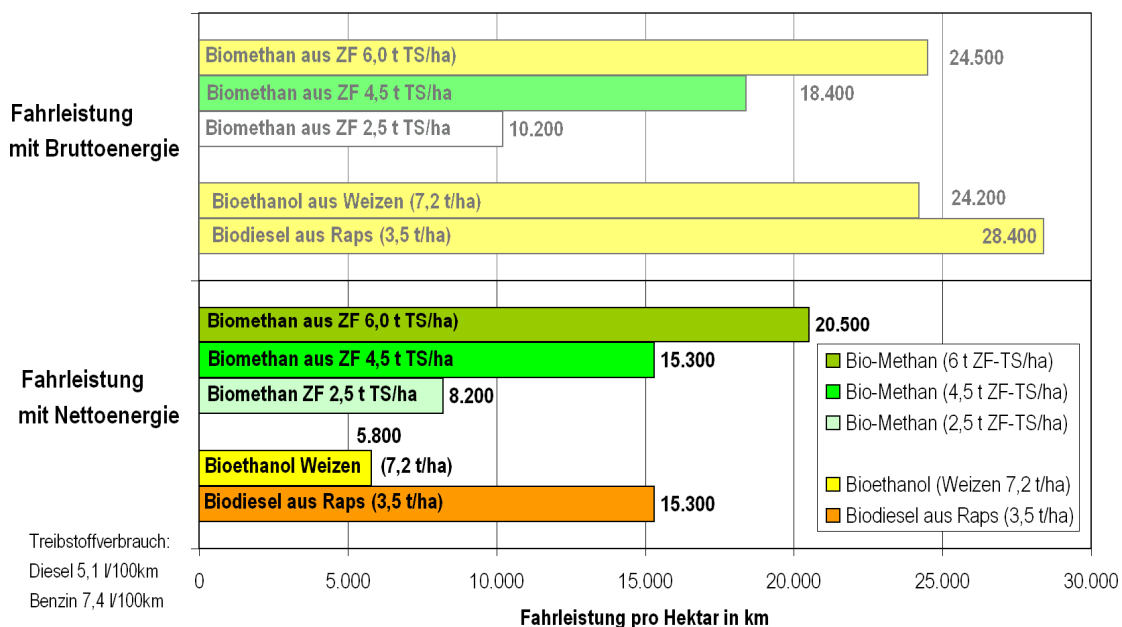


Abb. 17 Vergleich der Fahrleistungen, die mit dem Brutto- und Nettoenergieertrag von ZF (Biomethan), Weizen (Bioethanol) und Raps (Biodiesel) erzielbar sind (7,4l Benzin entsprechen 4,9 kg Biomethan)

Beim Vergleich der Fahrleistung, die mit dem Netto-Energieertrag erzielt werden kann, ergibt sich wegen der niedrigeren Energieeffizienz von Bioethanol (EROI 1,3) und Biodiesel (EROI 2,2) ein völlig anders Bild. Die Fahrleistung von Bioethanol wird bereits mit ZF-Erträgen von 1,9 t TS/ha erreicht. Die Fahrleistung, die mit einem ZF-Bestand von 4,5 t TS/ha möglich ist,

entspricht jener von Biodiesel. Gut entwickelte ZF mit 6,0 t TS/ha übertreffen die mit Biodiesel mögliche Reichweite um ein Drittel. Beim Vergleich ist des weiteren zu berücksichtigen, dass bei ZF jede beliebige Hauptkultur für Nahrungsmittelzwecke angebaut werden kann. Bei der Biodieselproduktion verbleiben hingegen 2,1 t Rapspresskuchen und bei der Bioethanolproduktion 2,7 t DDGS für die Futternutzung.

8.3 Ökologischer Fußabdruck

Für S-ZF und Weizen ergab der Vergleich der landwirtschaftlichen Erzeugung unter Berücksichtigung ökologischer Effekte, dass der Fußabdruck durch Gründüngung im Vergleich zur Schwarzbrache um ca. 19 % reduziert werden kann (siehe Abb. 18). Durch Biogas aus ZF können diese positiven Effekte gegenüber der Schwarzbrache nochmals verbessert werden, sodass sich auch bei Einsatz des Pfluges eine Reduktion um 42 % ergibt. Bei pfluglosem Verfahren beträgt die Reduktion 49 % von 406.000 auf 209.000. Unter Berücksichtigung der Erdgassubstitution vergrößert sich die Differenz: Durch die Biogaserzeugung verringert sich der Fußabdruck gegenüber der Schwarzbrache um 53 %, wenn gepflügt wird, und pfluglos um 55 %. Gegenüber der Gründüngung ergibt sich eine Verbesserung um 49 bzw. 52 %.

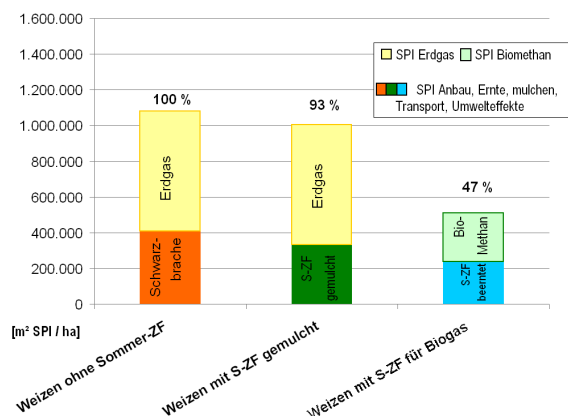


Abb. 18 Ökologischer Fußabdruck der Erzeugung von S-ZF zur Biogaserzeugung/Gründüngung und Weizen einschließlich der Bereitstellung von Biomethan und Erdgas-Substitution

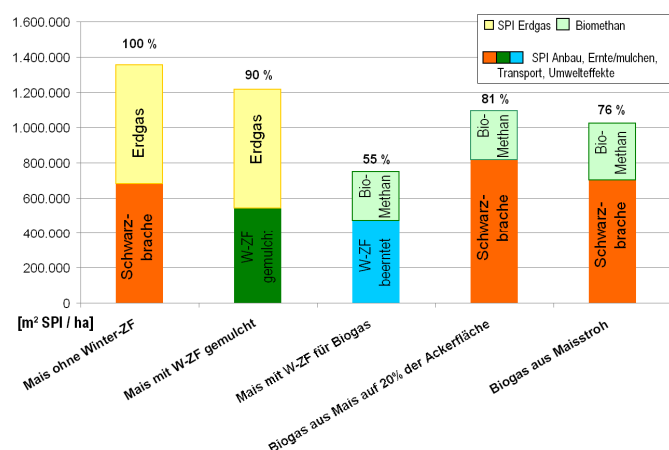


Abb. 19 Ökologischer Fußabdruck der Erzeugung von W-ZF zur Biogaserzeugung/Gründüngung und Mais einschließlich der Bereitstellung von Biomethan und Erdgas-Substitution; ergänzender Vergleich mit der Biogaserzeugung aus Maisstroh sowie aus Mais auf 20 % der Ackerfläche

Beim Vergleich des ökologischen Fußabdrucks für W-ZF in Kombination mit Mais ergibt sich ein ähnliches Verhältnis allerdings auf einem höheren Niveau (siehe Abb. 19). Durch eine ZF zur Gründüngung verbessert sich der Fußabdruck der ackerbaulichen Erzeugung um 20 % und durch beerntete ZF um 31 bzw. 33 %. Unter Berücksichtigung der Energiebereitstellung bzw. Erdgassubstitution ergibt sich eine Reduktion des Fußabdrucks der gemulchten W-ZF gegenüber der Schwarzbrache um 10 %. Durch die Beerntung von W-ZF ergibt sich eine Verbesserung um 55 % gegenüber dem Maisanbau ohne ZF.

Unter der Annahme, dass maximal 20 % der Ackerfläche für den Maisanbau zur Biogaserzeugung genutzt werden könnten, wurde dieser Anteil zur Ermittlung des ökologischen Fußabdrucks auf einen repräsentativen Hektar Ackerfläche umgelegt. Zur Berücksichtigung der Verdrängung der Nahrungs- oder Futtermittelerzeugung wird der Import bzw. Zukauf von

Futtermitteln berücksichtigt, die ansonsten auf den zur Biogaserzeugung genutzten Fläche erzeugt werden könnten. Der Einfachheit halber wird der Zukauf von 3 t TS Maissilage angesetzt. Unter dieser Annahme erhöht sich der ökologische Fußabdruck des Ackerbaus um 20 % gegenüber dem Maisanbau zur Tierfütterung. Unter Berücksichtigung der Biogaserzeugung mit 20 % des Maisertrags von 1260 Nm³ CH₄/ha verbessert sich der Fußabdruck gegenüber dem Maisanbau ohne Energieproduktion um 19 %. Wird durch die Nutzung von Maisstroh aus CCM (Corn Cob Mix) oder Körnermaisproduktion statt Maissilage Flächenkonkurrenz vermieden, der Mais ansonsten mit konventionellem Verfahren ohne ZF angebaut, bleibt der Fußabdruck für den Ackerbau annähernd gleich. Unter Berücksichtigung der Biogaserzeugung und Erdgassubstitution ergibt sich jedoch eine Verbesserung um 24 %.

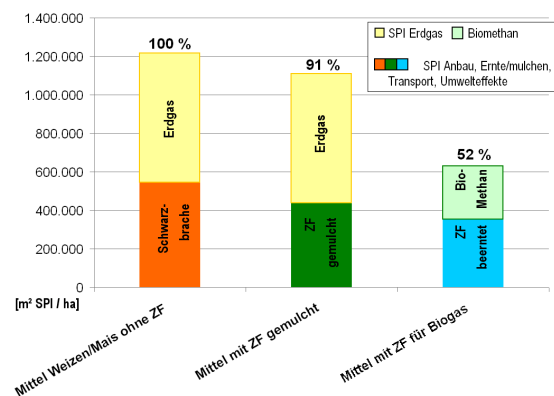


Abb. 20 Mittelwerte der Fußabdrücke von S-ZF/Weizen und W-ZF/Mais mit unterschiedlicher Nutzung der ZF sowie der Hauptkulturen ohne ZF-Anbau

Im Durchschnitt aus Wintergetreide mit S-ZF und Maisanbau mit W-ZF ergeben sich die Fußabdrücke, die in Abb. 20 dargestellt sind. ZF zur Begrünung verbessern den Fußabdruck des Ackerbaus im durchschnitt um 20 %. Durch die Biogaserzeugung aus ZF ergibt sich eine Verbesserung um 35 % gegenüber der Schwarzbrache und um 19 % gegenüber der Gründüngung. Unter Berücksichtigung der Energieerzeugung verbessern beerntete ZF den Fußabdruck um knapp 50 % gegenüber der Schwarzbrache und um 43 % gegenüber des ZF-Anbaus zu Gründüngung.

Wie sich nach Abschluss der Berechnungen und Diskussion der Ergebnisse zeigte, nehmen die ökologischen Fußabdrücke der Nitratauswaschung und Erosion im Vergleich zu Lachgasemissionen und Humusbildung nur sehr geringen Einfluss auf die Gesamthöhe des Fußabdrucks. Die hohe volkswirtschaftliche Bedeutung dieser beiden Umweltwirkungen legt nahe, in Folgeprojekten an der Modellbildung zur Bewertung dieser beiden Prozesse weiterzuarbeiten. Weitere Informationen zu Energiebilanzen und der Berechnung des Ökologischen Fußabdrucks befinden sich im Anhang.

9 Praktische Erprobung und wirtschaftliche Bewertung der Biogaserzeugung aus ZF

9.1 Vorgehensweise und Methodik

Neben den Praktikern, die ins Projekt direkt als Partner eingebundenen waren, stand das Projektteam auch in laufendem Kontakt mit weiteren Biogasanlagenbetreibern, Landwirten

und Beratern. Ergänzend wurden Workshops und Maschinenvorfürungen durchgeführt und Ergebnisse auf Kongressen präsentiert und diskutiert. Da der erzielbare wirtschaftliche Erfolg direkt vom gewählten Vorgehen abhängig ist, wird die Darstellung der Erfahrungen, die in der praktischen Erprobung gesammelt wurden, in die ökonomische Bewertung integriert. Gleichzeitig werden damit auch die Ergebnisse der anderen Arbeitspakete hinsichtlich der Ausdehnung der praktischen Anwendung nachfolgend zusammengeführt.

Die Kosten, die von Praktikern für ZF-Anbau, Düngung und Beerntung genannt wurden, variierten beträchtlich. Sie waren in der Regel niedriger, wenn der Biogasanlagenbetreiber oder beteiligte Landwirte über eigene Technik verfügten und die Vorgehensweise bereits mit hoher Eigenmotivation den individuellen Möglichkeiten angepasst hatten. Bei ersten Versuchen mit nur bedingt geeigneter Technik und Vorgehensweise sowie Arbeitserledigung durch Dritte, war der Deckungsbeitrag deutlich niedriger (Siehe Tab. 4).

9.2 Anbau

Für den Anbau kann prinzipiell jede Sätechnik genutzt werden, auch Kurzscheibeneggen mit Saatkästen, sofern eine Beerntung ohne hohe Anteile an Erde im ZF-Erntegut möglich ist. Die beste Anbauqualität bei gleichzeitig hoher Schlagkraft und niedrigen Kosten im Vergleich zu Verfahren, die mehrere Überfahrten erfordern, konnte mit Mulch- oder Direktsaattechnik erreicht werden (50 – 60 €/ha). Mit dieser Technik kann der Stoppelsturz entfallen und ggf. auch Gülle eingearbeitet werden. Bei Überlegungen zur Kostenoptimierung ist zu berücksichtigen, dass optimale Keimbedingungen des ZF-Saatguts die Entwicklung der ZF beschleunigen und die Konkurrenzfähigkeit gegenüber auflaufenden Samen der vorhergehenden Hauptfrucht erhöhen. Die gemeinsame Ablage von grob- und feinkörnigen Samen in einer geringen Tiefe ist für grobkörnige Samen nicht optimal. Bei ausreichenden Niederschlägen, die grobkörnige Leguminosen ohnehin benötigen, ist sie jedoch kein gravierender Nachteil. Wenn verfügbar, sollte jedoch Sätechnik mit zwei Saatkästen für optimale Ablagetiefe genutzt werden. 2014 wurden im Rahmen des Projektes drei Gemenge für den frühen und späten Anbau mit zwei Saatkästen angeboten (siehe Anhang).



Abb. 21 Beispiele für Mulchsaattechnik (Horsch Express und Treffler PG 580 mit 2 Saatkästen)

9.3 Saatgut

Die niedrigsten Kosten (30 - 60 €/ha) sind bei frühem Anbau von S-ZF nach Gerste, Raps oder GPS mit Sudangrashybriden, Sonnenblume und Mungo möglich. Bei späterem Anbau (z. B. nach Weizen) sind die Saatgutkosten mit Senf und Ölrettich und bei W-ZF mit W-

Rübsen und Perko am niedrigsten. Leguminosen sind in der Regel teurer (60 – 230 €/ha), ermöglichen jedoch durch die Bindung von Stickstoff (N) aus der Luft vor allem bei S-ZF Kosteneinsparungen, weil die Düngung der ZF reduziert und die Biogasgülle stattdessen für die Hauptkultur genutzt werden kann. Als Faustzahl gilt, dass pro t oberirdischer Leguminosen-TS ca. 35 kg N/ha aus der Luft fixiert werden, wenn sparsam gedüngt wird. Da jede ZF-Art mit bestimmten Witterungsbedingungen besser zurechtkommt (z. B. Sudan-grashybride mit Hitze und Trockenheit; Ackerbohne mit kühlem und feuchtem Wetter), können ZF-Gemenge mit Mischungspartnern, die konträre Witterungsverhältnisse bevorzugen, die Ertragssicherheit erhöhen. Bei passender Zusammenstellung kann darüber hinaus auf Pflanzenschutz verzichtet oder Lagerbildung vermieden werden. Bei einem Leguminosenanteil des Bestandes von ca. 50 % entstehen Saatgutkosten von ca. 120 €/ha. Deshalb ist vor allem bei S-ZF individuell abzuwägen, ob Einsparungen beim Saatgut letztlich eine Erhöhung des Gewinns ermöglichen. Bei W-ZF ist die Palette geeigneter Pflanzenarten wesentlich geringer. Neben Grünschnittroggen oder Rübsen in Reinkultur haben sich aber auch hier Mischungen von Grünschnittroggen mit Inkarnatklee, Winterwicke oder Wintererbse zu Kosten ab ca. 100 € / ha bewährt.

9.4 Biogasgülleausbringung

ZF wurden im Rahmen des Projektes nur mit Biogasgülle gedüngt. In der Biogasanlage und bei sachgerechter Ausbringung gehen nur geringe Nährstoffmengen durch Ausgasung verloren. Bei Leguminosen-ZF kann ein Teil der Gärreste auch für Hauptkulturen genutzt werden. Das ist insbesondere im viehlosen biologischen Landbau ein betriebswirtschaftlicher Vorteil der Biogaserzeugung aus ZF. Bei der Wahl der Ausbringungstechnik, sofern sie durch vorhandene Möglichkeiten nicht ohnehin feststeht, ist abzuwägen, mit welchen Kosten welche Schlagkraft und Ausbringungsqualität erreicht werden soll. Nach Möglichkeit sollte Biogasgülle bei S-ZF unmittelbar vor dem Anbau ausgebracht und mit der Anbautechnik eingearbeitet werden. Bei Kopfdüngung sollte die Gülle nach Möglichkeit Abends oder bei bedecktem Himmel ausgebracht werden, um Ausgasungsverluste zu minimieren und eine hohe Düngewirkung zu erreichen. Bei W-ZF ist eine bedarfsgerechte Düngung unbedingt erforderlich, weil eine N-Unterversorgung zu Ertragseinbußen bei der nachfolgenden Hauptkultur führen kann. Die Düngung sollte insbesondere auf überdurchschnittlich auswaschungsgefährdeten Standorten ausschließlich im Frühjahr erfolgen. Wenn Getreidestroh auf der Fläche verbleibt, benötigen auch S-ZF mit Leguminosen zum Anbau eine ausreichende Düngung. Nach Angaben von Praktikern fallen für die Gülleausbringung im Durchschnitt ca. 3,5 €/m³ an. Daraus ergeben sich Kosten von 45 bis 70 €/ha.

9.5 ZF-Ernte und Transport

Die Auswahl der Erntetechnik ist nicht nur für die Schlagkraft, sondern auch für die Rentabilität von entscheidender Bedeutung. Das derzeit praxisübliche Verfahren ist die Beräumung mit Häcksler von der Schwad. Wegen der niedrigen TS-Gehalte hat sich kurzes Anwelken nach dem Mähen bewährt. Die Nutzung von Mähtechnik mit Aufbereiter und Kollektor zur Ablage auf einer Schwad reduziert Verunreinigungen mit Erde und erhöht die

Schlagkraft. Die Beräumung mit Direktschneidwerk am Häcksler ist nur bei sehr gut entwickelten ZF-Beständen und relativ hohen TS-Gehalten rentabel. Bei niedrigen TS-Erträgen und hoher Bodenfeuchte kann die Beräumung von ZF mit Kurzschnittladewagen das Risiko von Bodenverdichtungen und ggf. auch Kosten reduzieren. Die Nutzung des Ladewagens setzt jedoch voraus, dass geeignete Technik zur Verteilung und Verdichtung auf der Siloplatte sowie zur Entnahme der Silage und Aufbereitung im Einbringsystem vorhanden ist. Bei durchschnittlich entwickelten ZF-Beständen kann von ca. 30 €/t TS bzw. 120 – 150 €/ha ausgegangen werden. Von den 30 €/t TS entfallen ca. 8 € auf das Mähen mit Kollektor oder separatem Schwaden, 12 € auf das Häckseln und ca. 9 € auf den Transport bis zu einer Entfernung von ca. 8 km.



Abb. 22 Mähwerk mit Aufbereiter und Kollektor (Kollektor zu Vorführungs Zwecken im Rahmen der Maschinenvorführung hochgeklappt)



Abb. 23 Kurzschnittladewagen bei der Beerntung von Winter-ZF

9.6 Lagerung, Fermentation, Co-Substrate:

Mit Ausnahme einzelner Versuche der Beerntung mit Direktschneidwerk am Häcksler, bei denen es nicht nur zu hohen Kosten sondern auch hoher Sickersaftbildung auf der Siloplatte kam, gab es von Praktikern keine Rückmeldungen über Probleme bei der Lagerung oder Verwertung. In Anlagen, in denen auch Mais- oder Rapsstroh genutzt wird, ergeben sich Synergien bei der Lagerung von S-ZF. S-ZF haben auch mit kurzem Anwelken noch relativ

niedrige TS-Gehalte und sind bei Anfall größerer Mengen etwas aufwendiger zu silieren. Körnermaisstroh hingegen ist meist relativ trocken. Da Maisstroh und S-ZF im gleichen Zeitraum beerntet werden können, kann in Kombination ein optimaler TS-Gehalt im Silo erreicht werden. Bei Nutzung eines Ladewagens erschweren längere Pflanzenstücke das Silieren und die Entnahme von Silage. Zusätzlich ist bei Nassvergärung die Aufbereitung der Biomasse mit z. B. Prallbrechmaschinen erforderlich, damit das Material aufgeschlagen wird und Bakterien eine möglichst große Oberfläche für die Fermentation schaffen. Die Aufbereitung in der Anlage hat den Zusatznutzen, dass auch Pferdemist oder Gras von Naturschutzflächen als Ergänzung zu ZF und Stroh verwertet werden können. Maisstroh wird für die Beerntung im ersten Schritt mit einem Mulcher, der mit Band- oder Schneckenkollektor ausgerüstet ist, auf Schwad gelegt. Bei der anschließenden Beräumung mit dem Ladewagen kann bei Stroh eine höhere Ladedichte erreicht werden als mit dem Häcksler. Bei Beerntung von ZF mit Häcksler fallen für Lagerung und Verwertung in der Regel keine oder nur geringe Zusatzkosten an, sofern die Anlage nicht extrem auf die ausschließliche Nutzung von Mais ausgelegt wurde. Wird die Beerntung mit Ladewagen und die Nutzung von Maisstroh angestrebt, sind entsprechende Investitionen erforderlich. Lagewagen ermöglichen im Vergleich zum Häcksler eine bodenschonendere Beerntung und sind auch mit 8-Rad-Laufwerken verfügbar. Kosteneinsparungen können mit Ladewagen jedoch nur erreicht werden, wenn eine ausreichende Auslastung gewährleistet ist und gleichzeitig in der Ernteperiode eine Schlagkraft wie mit einer Häckselkette erreicht werden kann, was die Anschaffung mehrerer Ladewägen erfordern würde.

9.7 Kommunikation und Management

Die Kosten für Kommunikation und Management sind vor allem vom Anteil eigener Flächen und dem Grad der Eigenmechanisierung abhängig. Wenn Anbau, Gülleausbringung oder Ernte teilweise oder zur Gänze von Lohnunternehmern oder über Maschinenringe durchgeführt werden, wächst der Koordinationsaufwand entsprechend. Darüber hinaus besteht das Risiko, dass Arbeiten nicht zum optimalen Zeitpunkt durchgeführt werden können oder dass auch Kosten steigen, weil die Qualität der Arbeit nur mit Einschränkungen optimiert werden kann. Der Aufwand steigt insbesondere, wenn benachbarte Landwirte erst dafür gewonnen werden müssen, ihre Flächen für ZF-Anbau und Ernte zur Verfügung zu stellen. Die zweite Option, Landwirte zu motivieren, selbstständig ZF anzubauen, zu düngen und gegen Entgelt an die Biogasanlage zu liefern, gelang im Rahmen des Projektes unter gegebenen Bedingungen nur vereinzelt. Die tatsächlich anfallenden Kosten für Kommunikation und Management sind schwer abschätzbar, können jedoch insbesondere in der Anfangsphase bis zur erfolgreichen Etablierung der Zusammenarbeit ein bedeutsamer Kostenpunkt werden, wenn dafür zusätzliches Personal benötigt wird. Vor allem die häufig von Landwirten geäußerte Sorge, die Biogaserzeugung aus ZF könnte trotz Rückführung der Gärreste im Vergleich zur Gründüngung für Bodenfruchtbarkeit und Humusgehalt nachteilige Effekte haben, erfordert entsprechende Überzeugungsarbeit. In einer ersten Schätzung wird von Kosten zwischen 10 und 50 €/ha ausgegangen.

9.8 Vermeidung von Bodenverdichtungen

In Gesprächen mit Praktikern wurde häufig das Risiko von Bodenverdichtungen bei der ZF-Ernte oder der Biogasgülleausbringung diskutiert. Dabei zeigte sich, dass die Vermeidung von Bodenverdichtungen letztlich eine Kostenfrage ist: Einerseits hinsichtlich der Investitionen, die für bodenschonende Laufwerke, Reifen und Reifendruckregelanlagen erforderlich sind. Andererseits hinsichtlich des Umgangs mit Kosten, die entstehen, wenn aus Gründen des Bodenschutzes auf eine Beerntung von S-ZF verzichtet oder die Beerntung von W-ZF witterungsbedingt auf einen späten Termin verschoben wird. Die Vermeidung von Bodenverdichtungen ist jedenfalls eine wichtige Voraussetzung für die Etablierung einer dauerhaften Zusammenarbeit mit Kooperationslandwirten. Die Abschätzung und Anrechnung möglicherweise entstehender Kosten ist nicht möglich.

9.9 Anrechnung von Kosteneinsparungen bei Hauptkulturen

Bei ZF-Anbau mit Mulchsaat entfällt der Stoppelsturz nach der Hauptkultur. Von Praktikern wurde auch berichtet, dass entweder der Aufwand für die Unkrautbekämpfung reduziert oder ohne Erhöhung des Pflanzenschutzaufwandes auf die Pflugfurche verzichtet werden konnte. Da zu wenig Erfahrungswerte vorliegen, können Einsparungsmöglichkeiten nicht zuverlässig abgeschätzt werden.

9.10 Ökologische Leistungen und Verbesserung der Bodenfruchtbarkeit

Betriebswirtschaftliche Effekte des Humusaufbaus und der Vermeidung von Erosion und Nitratauswaschung sind nur langfristig und auf Basis individueller Wertsetzungen bewertbar. Wenn zur Erreichung dieser Effekte ohnehin ZF zur Gründüngung angebaut werden, können angefallene Kosten bzw. eine ggf. erhaltene ÖPUL-Förderung in der betriebswirtschaftlichen Bewertung auf Eigenflächen voll angerechnet werden. Wenn diese Einsparungen bzw. die Förderung bei der ZF-Nutzung auf Flächen von Kooperationslandwirten berücksichtigt werden sollen, ist dies nur auf Basis umfangreicher Gespräche möglich, zumal Landwirte und auch Berater von Landwirtschaftskammern befürchten, der Förderanspruch könnte aberkannt werden, wenn eine Kontrolle des ZF-Anbaus unmittelbar nach der Beerntung erfolgen würde. Nach Auskunft der Agrarmarkt Austria ist diese Befürchtung jedoch unbegründet (siehe Anhang).

9.11 Ökonomische Gesamtbewertung

Die Gesamtkosten für ZF-Biomasse reichten von 45 bis 195 €/t TS. Bei durchschnittlich entwickelten ZF und optimierter Beerntung lagen die Kosten zwischen 90 und 105 €/ha. Diese Kosten konnten mit den Einnahmen für die ZF-Biomasse nur bei überdurchschnittlich gut entwickelten Beständen gedeckt werden. Nur wenn ZF ohnehin als Gründüngung angebaut wurden und der Anbau inkl. Saatgut zumindest teilweise durch die ÖPUL-Förderung gedeckt wurden, war zum Preisniveau bis Mitte 2014 in den meisten Fällen eine kostendeckende Nutzung möglich.

Tab. 4 Kosten und Erlöse der Biogaserzeugung aus ZF ohne Berücksichtigung von Fruchtfolgeeffekten

		€/t TS	min. [€/ha]		€/t TS	max. [€/ha]	empfehlenswert bzw. Durchschnitt [€/ha]	
Anbau [€/ha]	Mulchsaat		50	Bodenbearbeitung u. Säkombi.		130	Mulchsaat	50
Saatgut [€/ha]	ohne Leguminosen		30	Leguminosenanteil ca. 50 %		120	50 % Leg.	120
Gülldüngung	ca. 20 m³ je 3,5 €/m³		70*	10-15m³ je 3,5 €/m³		45	ca. 18 m³	60
Management			10			50		30
Erntekosten	Ladewagen; 2 km zur Anlage; Vorwelken			Häcksler Direktschneidwerk; 5 km; ohne Vorwelken			Häcksler, Vorwelken	
bei 2,5 t TS/ha		20	50		55	140	30	80
bei 3,5 t TS/ha		20	70		55	190	30	110
bei 4,5 t TS/ha		20	90		55	250	30	140
bei 6,0 t TS/ha		20	120		55	330	30	180
Summe Kosten		€/t TS	€/ha		€/t TS	€/ha	€/t TS	€/ha
bei 2,5 t TS/ha		85	210		195	485	135	340
bei 3,5 t TS/ha		65	230		155	535	105	370
bei 4,5 t TS/ha		55	250		130	595	90	400
bei 6,0 t TS/ha		45	280		115	675	75	440
Erlös € / t TS mit aktueller Einspeisevergütung; Maispreis bis Mitte 2014		60			110		85	
Summe Kosten ZF zur Gründüngung			80			250		150
Summe der Kosten, die über Gründüngung hinausgehen							€/t TS	€/ha
bei 2,5 t TS/ha		50	130		95	235	75	190
bei 3,5 t TS/ha		45	150		80	285	65	220
bei 4,5 t TS/ha		40	170		75	345	55	250
bei 6,0 t TS/ha		35	200		70	425	50	290

* ZF ohne Leguminosen erfordern höhere Gülldüngung, deshalb minimale Kosten höher als maximale bei ZF-Gemenge mit Leguminosen

9.12 Ökonomische Attraktivität von ZF in Relation zu Silomais

Auf Standorten, die sich zur Körnermaiserzeugung eignen, hängt der Preis für Silomais von den alternativ mit Körnermais erzielbaren Einnahmen ab. Von 2011 bis Mitte 2014 lagen die Erzeugerpreise von Körnermais in einem Bereich zwischen 180 und 220 €/t. Zur Erzielung vergleichbarer Einnahmen mussten mit Silomais Preise von 85 - 120 €/t TS erzielt werden. Mitte 2014 brach der Preis ein und stabilisierte sich danach für Körnermais bei etwa 150 €/t und für Silomais bei ca. 65 – 75 €/t TS. Berücksichtigt man den etwas niedrigeren Methanertrag von ZF ergeben sich daraus zu Projektende für ZF maximal erzielbare Preise von 60 – 70 €/t TS. Bis Mitte 2014 waren mit ZF hingegen noch Preise von 75 - 110 €/t TS möglich, sofern kein Investitionsaufwand für die Nutzung von ZF entstand und Anlagenbetreiber ausreichende Zuschläge erhielten. Das aktuelle Preisniveau von Mais kann auch mit sehr gut entwickelten ZF kaum erreicht werden, wenn die Kosten für Anbau und Saatgut nicht zur Gänze durch ÖPUL gedeckt werden. Bis Mitte 2014 war die Nutzung von ZF hingegen noch deutlich attraktiver, wenn sie Silomais zu Marktpreisen ersetzten. Die Deckung der Vollkosten war dann bei Erträgen bis ca. 3 t TS möglich, wenn die Beerntung optimiert wurde.

10 Vorbehalte und Hemmnisse für die Biogaserzeugung aus ZF

Aufgrund der Entwicklungen in einigen Regionen Deutschlands wurde die Biogaserzeugung auch in Österreich kritisch diskutiert. Häufig wird befürchtet, dass eine Ausdehnung zur Verschärfung der Flächenkonkurrenz und Intensivierung des Maisanbaus führen würde.

Diese kritische Diskussion und die geringe öffentliche Akzeptanz sind wohl auch die Ursachen für die ungünstigen Rahmenbedingungen der Biogaserzeugung in Österreich. Die E-Control zieht deshalb hinsichtlich der Entwicklungsperspektiven im Ökostrombericht 2014 ein pessimistisches Resümee: *„Im Bereich Biogas ist damit zu rechnen, dass neben einem sehr geringen Ausbau eine Vielzahl von Bestandsanlagen vom Netz gehen werden“*.

In dieser Situation ist auch die vorbehaltlose Auseinandersetzung mit den Potenzialen der Biogaserzeugung erschwert, bei der statt Mais andere Rohstoffe zum Einsatz kommen.

Doch gerade der Verzicht auf Mais und andere Hauptkulturen könnte zu einer deutlichen Verbesserung der Akzeptanz beitragen, weil viele kritische Argumente nicht mehr greifen. Lediglich hinsichtlich der Befürchtungen, Bioenergiebereitstellung könnte durch steigende Energiepreise zu Energiearmut oder wirtschaftlichen Nachteilen führen, wäre noch eine detailliertere Analyse und Diskussion erforderlich. Bei der Planung konkreter Anlagen wäre bei der Standortwahl darauf zu achten, dass unmittelbare Anrainer durch Transport und Geruch nicht belästigt werden.

Es scheint allerdings auch unter Landwirten, Beratern und Biogaserzeugern Vorbehalte gegenüber der Biogaserzeugung aus ZF zu geben, deren Überwindung zumindest in der Anfangsphase ausführlicher Auseinandersetzung bedarf. In Diskussionen entstand der Eindruck, dass es viele nicht der Rede Wert finden, sich mit der Nutzung von Pflanzenbeständen auseinanderzusetzen, die „nur“ einen Ertrag von 2 - 8 t TS/ha in Aussicht stellen. Von der absoluten Höhe her, wirkt ein Fünftel dessen, was beim Anbau von Mais an Biomasse beerntet werden kann, auch nicht viel. Der Vergleich mit einzelnen Schnitten in Grünland, die sich auf ähnlichem Ertragsniveau wie ZF bewegen, ist für Leiter von Ackerbaubetrieben anscheinend nicht naheliegend. Hinzu kommt bei vielen auch die Befürchtung, dass durch die Beerntung von ZF Raubbau am Boden betrieben werden würde. Derartigen Bedenken kann jedoch erst bei differenzierter Betrachtung begegnet werden. Gegen eine ausführliche Auseinandersetzung und praktische Erprobung sprechen jedoch fehlende betriebswirtschaftliche Anreize und hohe Einstiegshürden: Einige Landwirte haben wegen zu geringer Deckungsbeiträge oder anderen Problemen beim Ausprobieren ihr ursprüngliches Interesse auch wieder verloren. Bei W-ZF kommen Befürchtungen hinzu, dass es zu Ertragseinbußen bei nachfolgendem Mais oder Kürbis kommt. Befürchtungen, die durch Empfehlungen einzelner Beratern verstärkt werden, Mais und Kürbis möglichst frühzeitig anzubauen. Die sachlichen Begründungen dieser Empfehlungen sind jedoch nicht immer nachvollziehbar.

Wie die wirtschaftliche Bewertung ergab, fehlen unter den aktuellen Rahmenbedingungen betriebswirtschaftliche Anreize für die Biogaserzeugung aus ZF. Einerseits setzt ÖPUL mit der aktuellen Förderung des ZF-Anbaus keine Anreize für die Beerntung von ZF, sondern führt eher zur Befürchtung, dass die Förderung aberkannt werden könnte, wenn unmittelbar

nach der Ernte eine Kontrolle erfolgt. Andererseits gibt es auch keine unmittelbaren betriebswirtschaftlichen Anreize für Biogasanlagenbetreiber, weil ökologische und volkswirtschaftliche Vorteile der Nutzung von ZF gegenüber Mais in der Einspeisevergütung derzeit keine Berücksichtigung finden. Hinzu kommt, dass Investitionen angesichts der generellen Unsicherheit im Biogassektor riskant sind. Deshalb ergibt sich folgendes Resümee für die aktuellen Rahmenbedingungen: Biogaserzeugung aus ZF ist derzeit eine Option für Idealisten und Anlagenbetreiber mit Weitblick, die über ausreichende Eigenflächen und finanzielle Polster verfügen und auch positive ökologische Effekte der Biogaserzeugung aus ZF in ihren betriebswirtschaftlichen Entscheidungen berücksichtigen.

11 Marktpotenziale der Biogaserzeugung aus ZF

Die Marktpotenziale werden insbesondere durch die Gestaltung der wirtschaftlichen Rahmenbedingungen bestimmt. Die E-Control geht im Ökostrombericht 2014 davon aus, dass es zu einem Rückgang der Biogaserzeugung kommen wird und dass Biogas ohne jegliche Unterstützung nicht am Markt teilnehmen kann. Laut E-Control sollten auch verstärkt bzw. ausschließlich Reststoffe zum Einsatz kommen.

Um in dieser Situation den Fortbestand der Biogaserzeugung zu sichern oder gar einen weiteren Ausbau zu erreichen, wären Anpassungen in drei Richtungen erforderlich/möglich:

1. Es könnte der Marktwert der erzeugten Energie erhöht werden, indem Regelernergie bereitgestellt wird. Diese Möglichkeit zur Senkung des Unterstützungsbedarfs blieb bisher in Österreich völlig ungenutzt, obwohl laut E-Control dringender Bedarf zur Vorhaltung von zusätzlicher Regelleistung besteht, weil die Kosten mittlerweile über dem volkswirtschaftlichen Optimum liegen. In Deutschland wurde in den letzten Jahren praktisch bewiesen, dass sich die Biogaserzeugung sehr gut zur Regelernergiebereitstellung eignet.
2. Es könnte Zusatznutzen generiert werden, der die Energieerzeugung zu höheren Kosten rechtfertigt. Ein Zusatznutzen der angesprochenen Vorhaltung von Regelernergie wäre z. B. die Sicherung der Netzstabilität im Falle eines weiteren Ausbaus von Windenergie und Fotovoltaik. Weitere Möglichkeiten zur Erschließung von Zusatznutzen wäre die von der E-Control vorgeschlagene Verwertung von Reststoffen oder die hier untersuchte Nutzung von ZF. Letztere stellen höheren Zusatznutzen in Aussicht als Reststoffe und können zu einer deutlichen Reduzierung landwirtschaftlich bedingter Umweltrisiken beitragen. In Zeiten hoher Arbeitslosigkeit wäre als Zusatznutzen auch der relativ hohe Personalbedarf zu berücksichtigen und die davon ausgehenden Beschäftigungseffekte und Steigerung der regionalen Wertschöpfung. Durch aktive Kommunikation des Zusatznutzens der Biogaserzeugung könnte auch die öffentliche Akzeptanz verbessert werden.
3. Die dritte Option besteht in der Erschließung alternativer Märkte, auf denen eher die Konkurrenzfähigkeit zu Marktpreisen erreichbar oder höherer Zusatznutzen generierbar ist. Dies könnten z. B. die Treibstoffnutzung sein. Sie hat zwar neben den hohen Einstiegshürden zur Zeit ebenfalls mit niedrigen Preisen für Benzin und Diesel

zu kämpfen. Sie hätte jedoch für Ballungsräume den Zusatznutzen einer geringeren verkehrsbedingten Schadstoffbelastung und bietet sich insbesondere zur Nutzung in städtischen Bus- und LKW-Flotten an. Da nicht davon auszugehen ist, dass Treibstoffpreise dauerhaft auf einem derart niedrigen Niveau bleiben werden, könnten schon jetzt Aktivitäten initiiert werden, die mit breiter Wirkung eine Ausdehnung des Einsatzes von CNG, als Übergangslösung, und später Biomethan als Treibstoff anregen und erleichtern.

Neben den grundlegenden Bedingungen für die Biogaserezeugung wären auch die relativen Bedingungen so auszugestalten, dass sie eine Nutzung von ZF und Reststoffen statt Mais nahelegen.

Der ZF-Anbau wird im Rahmen von ÖPUL wegen seiner positiven Wirkungen für Wasser- und Erosionsschutz sowie Biodiversität gefördert. 2013 wurden dafür 64,4 Mio. Euro aufgewendet. Von diesen Mitteln gehen jedoch keine Anreize für hohe Biomassebildung und die Nutzung von ZF aus, obwohl dadurch die positiven Wirkungen erhöht werden. Andererseits enthält auch die aktuelle Ökostrom-Einspeisetarifverordnung keine Anreize für eine Substitution von Mais durch ZF oder Reststoffe (mit Ausnahme von Mist und Gülle bei kleineren Anlagen). Zusätzlich wurde im Sommer 2014 die Konkurrenzfähigkeit von ZF und Reststoffen gegenüber Mais durch dessen Preissturz verringert.

Deshalb wäre es naheliegend, auf beiden Seiten Anreize zu schaffen, um sowohl Landwirte als auch Biogasanlagenbetreiber zu verstärkter Kooperation zu motivieren und einen höheren Zusatznutzen öffentlicher Mittel zu erreichen:

- Seitens der Landwirte, damit sie ZF-Biomasse an Biogasanlagen liefern und Gärrest zurücknehmen oder Flächen für die ZF-Erzeugung bereitstellen.
- Seitens der Biogasanlagenbetreiber, damit sie ZF-Biomasse zu angemessenen Preisen abnehmen (können) oder selbst in Abstimmung mit den Landwirten ZF anbauen, ggf. düngen und beernten.

Anreize für die Beerntung von ZF in ÖPUL könnten an Vorgaben zur bedarfsgerechten Düngung, den Verzicht auf Pflanzenschutz und die Vermeidung von Bodenverdichtungen geknüpft werden. Dadurch würde die ökologische Effektivität erhöht, Investitionen in bodenschonende Technik angeregt und eine rentable Nutzung auch bei niedrigem Ertrag ermöglicht werden. Biogasanlagenbetreiber bräuchten hingegen nicht nur Anreize sondern auch ausreichenden finanziellen Spielraum, um ZF und Reststoffe statt Mais einzusetzen. Ein finanzieller Ausgleich ist insbesondere in der Anfangsphase erforderlich, wenn die optimale Vorgehensweise für die jeweiligen Voraussetzungen erst gefunden werden muss und Ertragspotenziale noch nicht optimal ausgeschöpft werden können. Zu Beginn ist auch der Kommunikations- und Managementaufwand am höchsten, insbesondere wenn Eigenflächen nicht ausreichen und potenzielle Kooperationspartner von den erreichbaren Effekten erst überzeugt werden müssen.

In diesem Zusammenhang wäre es auch erforderlich, Entscheidungsträgern, Multiplikatoren und Landwirten Informationen über erzielbare positive Effekte für den Ackerbau zugänglich zu machen, damit bestehende Vorurteile gegenüber der Beerntung von ZF und Rückführung von Gärresten überwunden werden können.

dadurch auch besser für klimatische Veränderungen gewappnet. Lediglich in Gebieten, in denen es Probleme mit sinkenden Grundwasserspiegeln gibt, wäre zu untersuchen, inwieweit die übrigen Vorteile durch eine Absenkung der Grundwasserneubildungsrate aufgewogen werden.

Der Wirkungsgrad und die gesellschaftliche Akzeptanz eines solchen Systems der Bioenergiebereitstellung könnten gesteigert werden, wenn Biogas nur in relativ kleinen Fermenter-Anlagen hergestellt werden würde, um den Transportaufwand für Rohstoffe und Biogasgülle zu minimieren. Um dennoch einen hohen Gesamtwirkungsgrad von Blockheizkraftwerken (BHKW) oder den rentablen Betrieb von Biogasaufbereitungsanlagen zu ermöglichen, könnte das Biogas mehrerer Fermenteranlagen über eigene Gasleitungen zentral gebündelt werden (Siehe Endbericht Syn-Energy). Unmittelbar bei den Fermentern würden BHKWs dann nur zur Eigenenergieversorgung oder bei günstigen Bedingungen für eine vollständige Abwärmenutzung betrieben werden. Der kombinierte Betrieb von BHKW und Biogasaufbereitung hätte den Vorteil, dass in Zeiten, in denen kein Strom im Netz benötigt wird, Biomethan zur Nutzung als Treibstoff oder Einspeisung erzeugt werden könnte. In Zeiten in denen die Stromerzeugung aus Wind, Sonne und Wasser nicht zur Bedarfsdeckung ausreicht, könnte an Orten, an denen eine nahezu vollständige Abwärmenutzung möglich ist, Regelernergie bereitgestellt werden.

Steyr und Valtra haben Traktoren entwickelt, die Methan/CNG als Treibstoff nutzen können. Im Motorleistungsbereich von 82 - 99 kW werden sie bereits in Serie produziert und können bis zu einem Anteil von 80 % Methan nutzen. Der Einsatz von Biomethan als Treibstoff in der Landwirtschaft ist somit keine theoretische Überlegung, sondern eine Frage der Gestaltung der Rahmenbedingungen. Biomethan aus ZF würde ermöglichen, die direkte Koppelung von Nahrungsmittel- und Dieselpreisen aufzuheben. Des weiteren könnte die Ernährungssicherheit hinsichtlich eventueller, künftiger Treibstoff-Versorgungsengpässe infolge globaler Krisen erhöht werden.



Abb. 25 Steyr-Traktor mit Nachrüstsatz zum Betrieb mit Biomethan/CNG-Anteil von ca. 65 %; Valtra aus Serienproduktion für Betrieb mit Biomethan/CNG-Anteil von ca. 80%

Die praktische Realisierung eines derartigen Energiebereitstellungssystems wäre zwar unter den gegenwärtigen ökonomischen Bedingungen nur schwer möglich. Sollten die Preise für konventionelle Energie deutlich anziehen, würde einer Umsetzung aus technischer Sicht nichts im Wege stehen, wenn gesetzliche Rahmenbedingungen entsprechend angepasst werden. Mit einer derartigen Konzeption wäre es möglich, den potenziellen volkswirtschaftlichen Nutzen voll auszuschöpfen. Sollten die Preise von Diesel und Benzin wieder das

Niveau von 2012 erreichen oder sich sogar auf einem höheren Niveau stabilisieren, könnte die Treibstoffnutzung von Biomethan je nach Höhe der Besteuerung mit diesen Energieträgern auch am freien Markt konkurrieren. Zu lösen wäre dann lediglich noch das Henne-Ei Problem: Denn die Anschaffung von Fahrzeugen, die mit CNG oder Biomethan betrieben werden können, lohnt sich nur, wenn diese Treibstoffe verfügbar sind. Umgekehrt ist das Risiko von Investitionen in Biomethanaufbereitung und Tankstellensysteme nur rentabel, wenn auch eine ausreichende Auslastung erreicht werden kann.

13 Größenordnungen volkswirtschaftlicher Effekte

In Abb. 24 ist ersichtlich, dass ca. 75 % der Bruttoenergie von ZF für externe Nutzungen bereitgestellt werden könnten. Ca. 4 % der Bruttoenergie werden benötigt, um Biomasse für die Biogaserzeugung zu produzieren. Weitere 7 % sind ausreichend um zusätzlich Kultivierung, Ernte und Transport der Hauptkultur auf der selben Fläche zu gewährleisten. Eine zusätzliche Verringerung des Eigenanteils der Landwirtschaft ist durch Nutzung von Reststoffen und Gülle möglich, in der Grafik jedoch nicht berücksichtigt. Für die Biogasanlage selbst werden ca. 5 % der Bruttoenergie benötigt und für BHKW oder Biogasaufbereitung jeweils ca. 9%. Für den Eigenverbrauch sind beträchtliche Effizienzsteigerungspotenziale vorhanden.

Um eine Vorstellung von der Größenordnung des Energiepotenzials zu bekommen, das mit dieser Art der Biogaserzeugung mit breiter gesellschaftlicher Unterstützung mittel- bis langfristig erschlossen werden könnte, wird der Ertrag von durchschnittlich 4 – 5 t TS / ha mit einem Methangehalt von 280 NI/kg TS bzw. einem Methanertrag von 1260 Nm³ CH₄/ha brutto hochgerechnet. Würde auf ca. 50 % der österreichischen Ackerflächen (680.000 ha) Bio-Methan aus ZF erzeugt werden, ergäbe dies ca. 860 Mio. Nm³ CH₄ pro Jahr. Mit der Erschließung von 60 % Wirtschaftsdünger (430 Mio Nm³ CH₄), 70 % Stroh von Mais und Raps (245 Mio Nm³ CH₄), 10 % Getreidestroh (40 Mio Nm³ CH₄) und 35 Mio Nm³ CH₄ aus organischen Abfällen erhöht sich das Gesamtenergiepotenzial um knapp 90 % auf 1,6 Mrd. Nm³ CH₄ brutto bzw. 58 Petajoule oder 16 TeraWh. Das entspricht knapp 18 % des Erdgasinlandsverbrauchs von 2013 und würde bei Großhandelspreisen von 25 Euro/MWh für Erdgasimporte den Kapitalabfluss um ca. 400 Mio. Euro reduzieren.

Tab. 5 Abschätzung der Beschäftigungs- und Wertschöpfungseffekte der Biogaserzeugung aus ZF auf 50% der Ackerfläche, 60 % Wirtschaftsdünger, 70 % Mais- und Rapsstroh, 10 % Getreidestroh bei Erzeugung von elektrischem Strom mit einem Wirkungsgrad_{el} von 40 % auf Basis der Berechnungen des IHS Kärnten 2007

	Gesamteffekt brutto	Gesamteffekt ohne Einkommensentzugseffekt	
		bei Strompreis von 5 Cent/kWh	bei Strompreis von 6,5 Cent/kWh
jährliche Beschäftigungseffekte in Personenjahren (Vollzeitäquivalente)			
pro GWh	3,4	2,1	2,4
6,4 TeraWh	21.800	13.400	15.400
jährliche Wertschöpfung in €			
pro GWh	140.000	54.000	69.000
6,4 TeraWh	895.000.000	345.000.000	440.000.000

Bei Nutzung des Energiepotenzials von ZF und Reststoffen als Treibstoff könnten mit PKWs bei einem Durchschnittsverbrauch von 7,4 l Benzin / 100 km bzw. 4,9 kg CH₄ / 100 km ca. 23,4 Mrd. km zurückgelegt werden. Neuere CNG-Mittelklasse-Pkws kommen auch mit 3,5 kg CH₄ / 100 km aus, wodurch sich die Fahrleistung auf 32,4 Mrd. km erhöhen würde. Zum Vergleich: Der Leichtverkehr auf österreichischen Autobahnen und Schnellstraßen betrug 2011 23,7 Mrd. Kfz-Kilometer.

Rechnet man die Beschäftigungs- und Wertschöpfungseffekte, die vom IHS Kärnten 2007 für die E-Control ermittelt wurden, auf die oben angeführte Brutto-Erzeugung von 16 TeraWh hoch, ergeben sich die Werte in Tab. 5. Die Effekte wurden für Biogasanlagen mit BHKW (290 kW_{el.}, 7000 Betriebsstunden pro Jahr) ermittelt. Zur Hochrechnung wurde ein BHKW-Wirkungsgrad von 40% angenommen und eine Strom-Gesamterzeugung von 6,4 TeraWh angesetzt. Aus den Angaben des IHS Kärnten ist nicht zu entnehmen, ob bei der Ermittlung der Beschäftigungs- und Wertschöpfungseffekte in den Einkommensentzugseffekten die Verdrängung anderer Kulturen durch Biogas-Mais berücksichtigt wurde. Sollte die Flächenkonkurrenz berücksichtigt worden sein, würden sich die Nettoeffekte entsprechend erhöhen. Mit den Daten des IHS ergeben sich für die Biogaserzeugung aus ZF und Reststoffen Beschäftigungseffekte von knapp 22.000 Vollzeitäquivalenten brutto und zwischen 13.000 und 16.000 netto. Zum Vergleich: Im grünen Bericht 2014 wurden für den landwirtschaftlichen Sektor für das Jahr 2013 145.500 Jahresarbeitseinheiten ausgewiesen.

Die Bruttowertschöpfung erreicht knapp 900 Mio. Euro. Unter Berücksichtigung der Einkommensentzugseffekte durch die höhere Vergütung verbleibt eine Netto-Wertschöpfung zwischen 340 und 440 Mio. Euro. Zur Erzielung belastbarer Zahlen wäre eine Vertiefung und Aktualisierung der volkswirtschaftlichen Analysen erforderlich. Diese sollte auch, soweit monetär erfassbar, ökologische Effekte einbeziehen sowie Folgekosten einschließen, die entstehen, wenn Klimaschutzziele nicht erreicht werden und entsprechende Anpassungsleistungen oder Reparaturen von Katastrophenschäden finanziert werden müssen.

14 Weiterer Forschungsbedarf

Die vorliegenden Ergebnisse wurden mit einem breiten, explorativen Ansatz erarbeitet. Primäres Ziel war die Ermittlung und umfassende Bewertung von Potenzialen, die durch die Biogaserzeugung aus ZF erschlossen werden können. Aus diesem Grund wäre die Vertiefung und Verdichtung der vorliegenden Analysen in einigen Bereichen sinnvoll/erforderlich. Angesichts der aktuellen Situation der Biogaserzeugung in Österreich wäre es zunächst empfehlenswert, die volkswirtschaftlichen Effekte, die mit der Biogaserzeugung aus ZF und Reststoffen erzielbar sind, einer vertiefenden Analyse zu unterziehen. Neben der Ermittlung von Beschäftigungs- und Wertschöpfungseffekten könnte auch eine monetäre Bewertung der erzielbaren ökologischen Effekte vorgenommen werden. Belastbare Daten könnten in der Folge die Voraussetzungen für eine sachliche Diskussion über die Gestaltung der Rahmenbedingungen verbessern und die Festlegung der Höhe erforderlicher Anreize bzw. der Höhe des monetären Ausgleichs für die Erbringung volkswirtschaftlicher und ökologischer Leistungen erleichtern.

Hinsichtlich der ökologischen Leistungen, wäre es empfehlenswert, Dauerversuche anzulegen, um insbesondere Effekte der Biogaserzeugung aus ZF auf Humusgehalt und Bodenfruchtbarkeit durch Messungen überprüfen zu können. Ergänzend wären die Auswirkungen auf Lachgasemissionen durch Messungen zu präzisieren. Ergänzend könnten die Modelle zur Abschätzung des ökologischen Fußabdrucks angepasst werden, insbesondere hinsichtlich der Relation von Nitrat- zu Lachgasemissionen und von Erosion zu Humusgehalt. Ein weiterer Fokus der Forschung sollte auf die Effizienzsteigerung in der praktischen Umsetzung gelegt werden. Einerseits könnten mit den jetzt vorliegenden Ergebnissen die Arbeiten aus dem Vorgängerprojekt hinsichtlich der Anlagenkonzeption aktualisiert werden. Sollte sich bestätigen, dass durch die Bündelung von Biogas mehrerer Fermenter über eigene Gasleitungen bei einem zentralen BHKW und/oder einer Gasaufbereitungsanlage nicht nur der Transportaufwand reduziert, sondern auch den Gesamtwirkungsgrad nennenswert verbessert, wäre dies eine Erleichterung für die kombinierte Bereitstellung von Regelernergie und Treibstoff.

Für die Auswahl optimaler Ernte-, Lagerungs- und Verwertungstechnik wären ebenfalls weitere vergleichende Untersuchungen sinnvoll. Es wären Lösungen für die Verteilung des Ernteguts auf der Siloplatte und die Entnahme der Silage zu finden, damit bei der Ernte auf den Häcksler verzichtet und stattdessen eine stationäre (mechanische) Aufbereitung in der Anlage betrieben werden kann. Die Bergung mit dem Ladewagen würde dann die Überfahrt mit dem Häcksler einsparen und eine bodenschonendere Beräumung ermöglichen. Darüber hinaus wäre es lohnenswert an der Optimierung der Düngung sowohl in Bezug auf Ertrag als auch auf Wasserschutz und die Vermeidung von Lachgasemissionen weiterzuarbeiten. Es wären praxistaugliche Verfahren hilfreich, die es ermöglichen, relativ präzise N-Entzüge und N-Fixierungsleistung abzuschätzen, um die Düngemenge besser planen zu können. Ergänzend wären die Ergebnisse zur Herbstdüngung von W-ZF in einem mehrjährigen Versuch zu wiederholen und zu prüfen, ob derselbe Ertragssteigerungseffekt auch durch eine Erhöhung der Düngung im Frühjahr erreicht werden kann.

Daneben gäbe es noch zahlreiche pflanzenbauliche Fragen, die bearbeitet werden sollten.



Abb. 26 BIOGASMIX Südburgenland 2011 (Foto: Ringhofer)

15 Anhang

15.1 ZF-Trockenmasseerträge

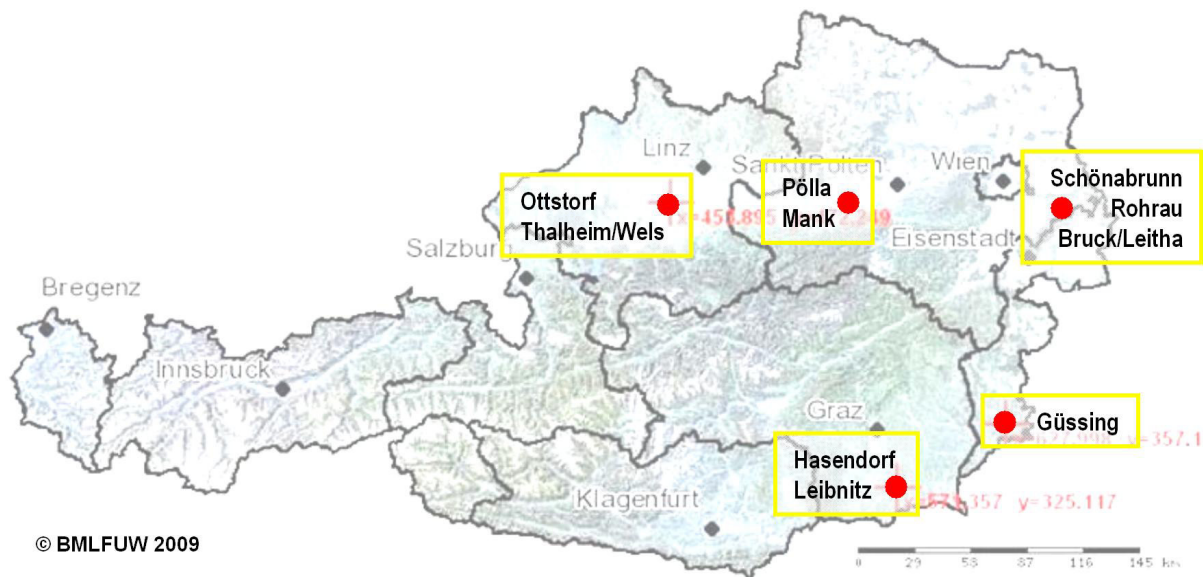


Abb. 27 Syn-EnergyII Versuchsstandorte: Hasendorf/Leibnitz, Güssing, Schönabrunn/Rohrau bei Bruck an der Leitha, Pölla bei Mank und Ottstorf bei Thalheim/Wels

In Abb. 27 ist die geografische Lage der Versuche eingetragen. In Güssing (Bgld), Ottstorf Thalheim/Wels (OÖ) und Hasendorf/Leibnitz (Stmk) wurden die im Rahmen des Projektes Syn-Energy angelegten Streifenversuche mit 7 – 9 Varianten (V) in drei Wiederholungen weitergeführt. Der Versuch in Thalheim wurde 2012 eingestellt und stattdessen ein Versuch zur Herbstdüngung von Grünschnittroggen in Pölla bei Mank angelegt (5 Varianten in drei Wiederholungen). Mit dem Versuch wurde die Ertragsrelevanz der Herbstdüngung von W-ZF untersucht, die bei Praktikern zwar üblich ist, aber das Nitratauswaschungsrisiko erhöhen könnte. Ab Juni 2012 wurden zwei Feldversuche in Schönabrunn und Rohrau, die im Projekt “Energiefrüchte am Acker – Feldversuch; Teilbereich Auswirkungen auf die Bodenfruchtbarkeit” angelegt wurden, im Rahmen von Syn-EnergyII weitergeführt (je drei Wiederholungen mit 3 Varianten in randomisierter Blockanlage). Die Ergebnisse bis zum Jahr 2012 wurden mit Mitteln der Europäischen Union und des Landes Niederösterreich gefördert.

In den Versuchen wurde jeweils auf V0 keine ZF angebaut (Schwarzbrache) und auf V1 verblieb die ZF zur Gründüngung (in der Regel gemulcht) auf der Fläche. In den übrigen Varianten wurden ZF zur Biogaserzeugung beerntet und eine dem Ertrag entsprechende Menge an Gärrest auf der Fläche wieder ausgebracht. W-ZF wurden spätestens zu Beginn der Vegetationsperiode mit Biogasgülle gedüngt. Anbau, Kulturführung und Pflanzenschutz der Hauptkulturen erfolgte in betriebsüblicher Weise. Tab. 6 gibt einen Überblick über die Fruchtfolgen mit ZF. Bei V1 wurden die ZF bis zu 3 Wochen vor dem angegebenen Erntetermin gemäht oder gemulcht. Nach W-ZF wurden die Hauptkulturen in V0 und V1, soweit dies organisatorisch möglich war, schon vor der Ernte der W-ZF zum ortsüblichen Termin angebaut. Die Biogaserzeugung aus W-ZF ist im Vergleich zu S-ZF mit einem höheren

Risiko von Ertragseinbußen bei der nachfolgenden Hauptkultur (z. B. Mais, Kürbis, Soja) verbunden. W-ZF standen deshalb im Fokus der Untersuchungen.

Tab. 6 Fruchtfolgen mit ZF für die Biogasferzeugung auf den Streifenversuchen

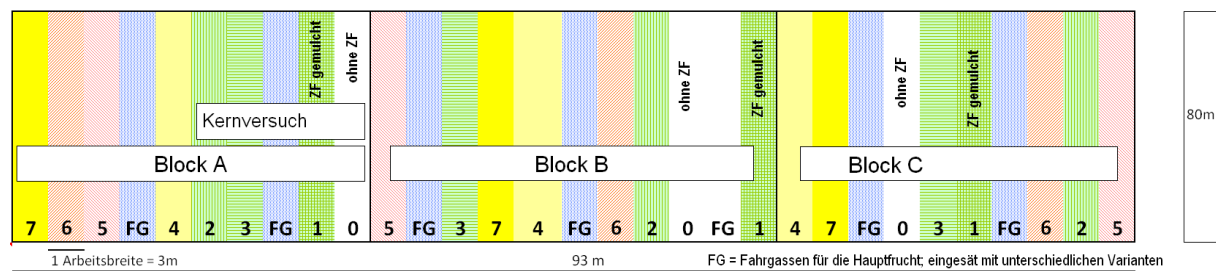
Güssing			Ottstorf Thalheim/Wels			Hasendorf Leibnitz			Schönabrunn Rohrau		
Kultur	Anbau	Ernte	Kultur	Anbau	Ernte	Kultur	Anbau	Ernte	Kultur	Anbau	Ernte
S-ZF	28.07.2009	15.10.2009	S-ZF	23.07.2009	15.10.2009	Kürbis		07.09.2011			
Winterweizen	18.10.2009	18.07.2010	Winterweizen	21.10.2009	10.08.2010	W-ZF	13.09.2009	03.05.2010			
Gemenge aus S-ZF und W-ZF	20.07.2010	11.10.2010, 06.05.2011	Gemenge aus S-ZF und W-ZF	13.08.2010	16.10.2010, 16.04.2011	Silomais	04.05.2010	10.09.2010			
Mais	11.05.2011	28.09.2011	Körnermais	23.04.2011	27.09.2011	W-ZF	01.10.2010	01.05.2011			
W-ZF	01.10.2011	08.05.2012	W-ZF	28.09.2012	06.05.2012	Kürbis	02.05.2011	17.09.2011	Winterweizen	30.10.2010	08.07.2011
Soja	10.05.2012	18.09.2012	Soja	07.05.2012	20.09.2012	W-ZF	23.09.2011	02.05.2012	S-ZF	18.07.2011	27.11.2011
W-ZF	19.09.2012	09.05.2013	W-Triticale	21.09.2012		Silomais	05.05.2012	17.09.2012	Soja	02.06.2012	25.09.2012
Mais – Noternte	10.05.2013	06.08.2013	Pölla Mank			W-ZF	21.09.2012	13.05.2013	W-ZF	01.10.2012	10.05.2013
S-ZF Biogasmix	08.08.2013	09.10.2013	Silomais		03.10.2013	Soja	16.05.2013	22.09.2013	Körnermais	14.05.2013	21.10.2013
W-ZF	10.10.2013	28.04.2014	W-ZF	07.10.2013	06.05.2014	W-ZF	04.10.2013	29.04.2014	W-ZF	28.10.2013	08.04.2014
Mais	10.05.2014	25.09.2014	Silomais	07.05.2014	25.09.2014	Silomais	20.05.2014	29.09.2014	Soja	28.04.2014	26.09.2014

Die Erträge, sowohl Frischmasse (FM) als auch Trockenmasse (TM bzw. TS), wurden mittels Beprobung von je 3 m² der ZF und Hauptkulturen erfasst. Bei Mais wurden zweimal zwei Reihen auf einer Länge von 2 m beprobt (5,6 m² Fläche) und die TM von Kolben und Stengel separat ermittelt. Von den Proben zur TM-Bestimmung wurde jeweils auch der N- und C-Gehalt gemessen. Insgesamt wurden 1833 N_{min}-Untersuchungen (davon beim Oberboden auch Humus), 35 Bodenuntersuchungen mit 73 Nges –Messungen und 668 Pflanzenuntersuchungen auf C- und N-Gehalt inkl. Trockenmassebestimmung durchgeführt. Zusätzlich wurden Biogasgülle-Untersuchungen durchgeführt.

Tab. 7 Niederschlag, Ackerzahlen und bodenphysikalische Eigenschaften der Feldversuchsstandorte

	Nieder-schlag (mm)	Ackerzahl (AZ)	PV (mm)	nFK (mm)	% nFK an PV	LK (mm)	% LK an PV	Ksmin (cm/d)
Güssing	710	43	396	189	0,48	22	0,06	1,7
Ottstorf (Thalheim/Wels)	756	54,6	373	155	0,42	72	0,19	8
Hasendorf (Leibnitz)	930	57,4	458	171	0,37	102	0,22	8,2
Pölla	840	42,4	431	189	0,44	65	0,15	11
Schönabrunn (Bruck/Leitha)	550	32,5	325	85	0,26	222	0,68	600

Die Versuche in Güssing und Thalheim wurden jeweils auf schluffigem Lehm angelegt. Wobei die Fläche in Güssing jedoch stark zu Staunässe neigt, weil in ca. 1 m Tiefe eine lehmig/tonige Sperrschicht ansteht. In Hasendorf wurde der Versuch auf lehmigem Schotter angelegt, der ab einer Tiefe von ca. 1,2 m in Schotter übergeht. mit einer dünnen Schicht sandigem Lehm bedeckt ist und im Die Versuchsfläche Rohrau befindet sich auf Tschernosem aus kalkhaltigen Feinsedimenten, die Versuchsfläche Schönabrunn auf einem trockenen Paratschernosem mit niedrigem Humusgehalt und saurer Bodenreaktion.



Tab. 8 Versuchsdesign Streifenversuch Güssing (V0 ohne ZF, V1 ZF zur Gründüngung gemulcht; V2 – V7 und FG für Biogasproduktion beerntet)

15.1.1 S-ZF Streifenversuch Güssing:

Wegen einer längeren Trockenperiode wurde der Mais 2013 bereits am 5.8. siliert. Unmittelbar danach wurde mit einer Horsch-Express Scheibenschar Sämaschine Biogasmix S-ZF-Gemenge angebaut. Auf dem schweren Boden konnte nur eine mäßige Aussaatqualität erreicht werden. Wenige Tage später wurde durch ein Gewitter der größte Teil der Fläche verschlämmt, sodass ein großer Teil der Samen nicht aufgelaufen ist. Der Durchschnittsertrag von V2-V7 lag bei 1,6 t TS / ha (Siehe Abb. 28). Auf V0 und V1 betrug er hingegen nur 1,1 t TS/ha. Auf fünf wenig verschlämmten Parzellen im Block A lag der TS-Ertrag bei 2 t / ha.

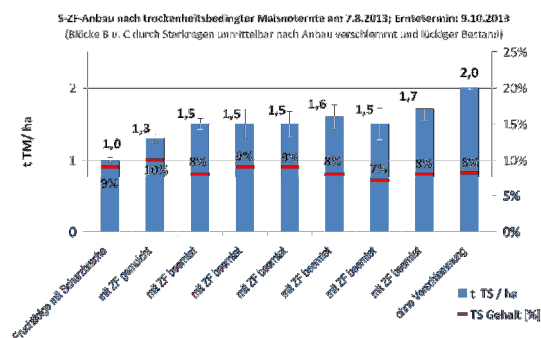


Abb. 28 S-ZF Biogasmix; Anbau nach Maisnoternte am 7.8.2014; Verschlämmung des schweren Bodens durch Starkregen nach Anbau und nur lückiger Feldaufgang

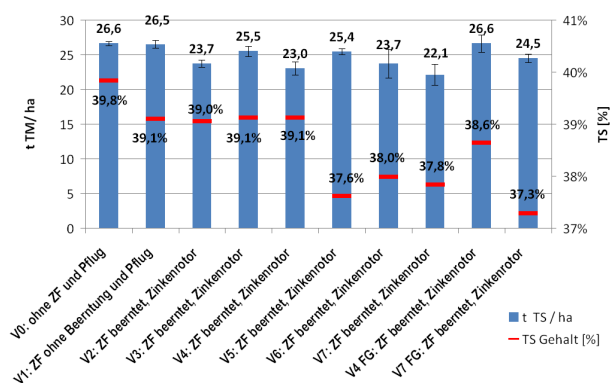


Abb. 29 Silomais-TM-erträge Güssing 28.9.2011 nach unterschiedlichen W-ZF mit und ohne Beerntung (Anbau am 11.5.2011)

15.1.2 W-ZF und Hauptkulturen Streifenversuch Güssing:

In Güssing wurde im September 2011 Mais beerntet (siehe Abb. 29). Der Maisertrag war bei den 3 Wochen später angebauten Varianten ca. 8% geringer als bei V0 und V1 mit praxisüblichem Anbau nach Schwarzbrache oder Gründüngung. Bei einer Variante mit hohem Leguminosenanteil im vorhergehenden W-ZF-Gemenge war der TS-Ertrag gleich hoch. Bei Varianten ohne Biogasgülledüngung der W-ZF im März lagen die Ertragseinbußen hingegen bei ca. 30 %. Bei N_{min} -Messungen Anfang Mai wurden in den Parzellen mit Beerntung der W-ZF wesentlich geringere Gehalte an mineralischem Stickstoff (10 – 20 kg N_{min} /ha 0-90 cm) ermittelt als bei V0 und V1. Die durchschnittlichen Erträge der nachfolgenden W-ZF lagen am 7. Mai 2012 bei 5,2 t TS / ha. Die höchsten Erträge mit über 6 t TS / ha erreichten eine Mischung aus Inkarnatkllee und Grünschnitttroggen sowie Grünschnitttroggen im Reinbestand. Soja (Abb. 31) erreichte in Güssing nach Schwarzbrache und Gründüngung 4,25 t / ha bei 9 % Feuchte. Die nach Beerntung der ZF angebauten Varianten lagen im Schnitt 4,19 t / ha. Infolge der niedrigen N_{min} -Werte konnten bei diesen Varianten in der ersten Wachstums-

phase Entwicklungsrückstände beobachtet werden. Die langsamere Jugendentwicklung und die geringere Wuchshöhe wirkten sich jedoch nicht negativ auf den Kornertrag aus.

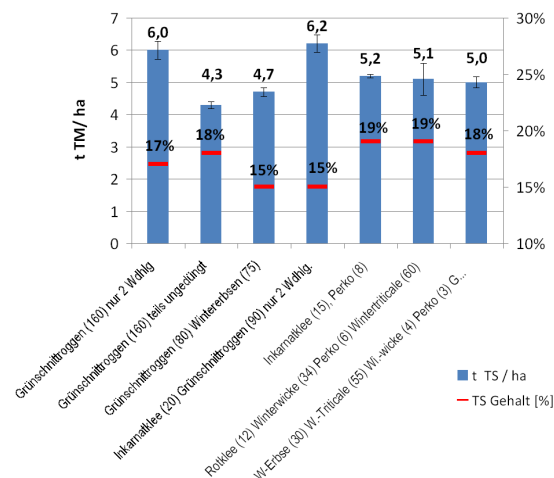


Abb. 30 W-ZF-TM-erträge Güssing 8.5.2012

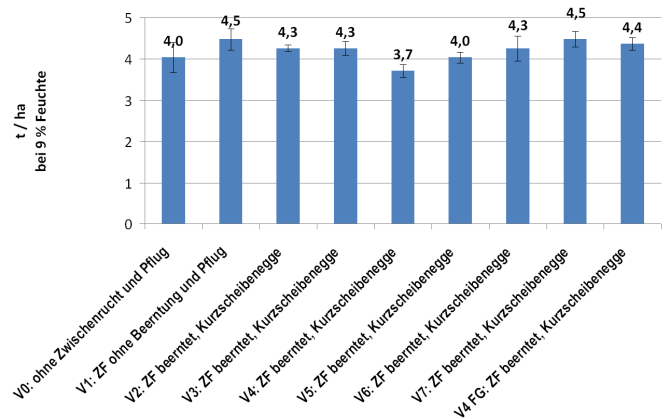


Abb. 31 Sojaerträge Güssing 2012 bei 9 % Feuchte nach unterschiedlichen W-ZF mit und ohne Beerntung

Trotz des späten Beginns der Vegetationsperiode Mitte April erreichten W-ZF in Güssing am 9. Mai 2013 im Durchschnitt mit 5,3 t TS/ha ein ähnliches Niveau wie in den Jahren davor. Sie konnten wegen unzureichender Befahrbarkeit des schweren Bodens erst am 16. April unmittelbar zu Vegetationsbeginn mit Biogasgülle gedüngt werden. Trotz des langen Winters und später Düngung, die offensichtlich eine hohe unmittelbare Ertragswirksamkeit entfalten konnte, erreichten einzelne Varianten Erträge von knapp 7 t TS/ha.

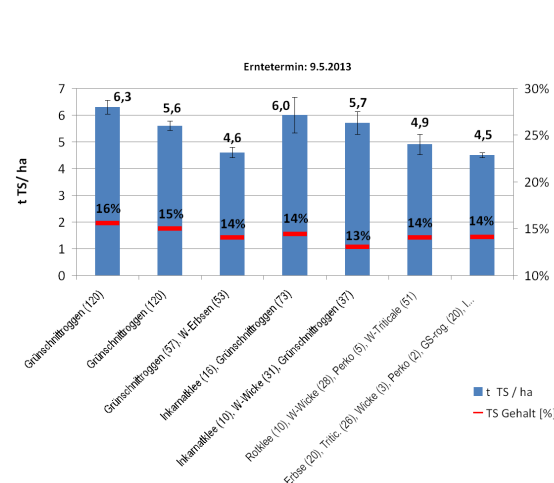


Abb. 32 W-ZF-TM-erträge Güssing 9.5.2013

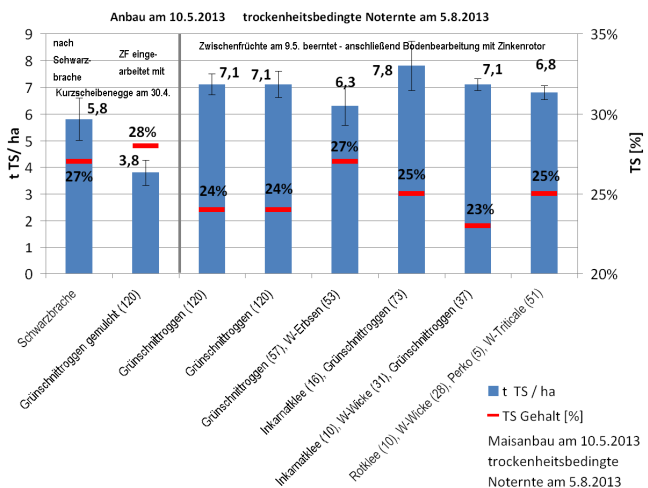


Abb. 33 Silomais-TM-erträge nach trockenheitsbedingter Noternte in Güssing am 5.8.2013; Angabe der vorhergehenden W-ZF-Gemenge mit und ohne Beerntung

Die landwirtschaftliche Fachschule Güssing (LFS) befand sich 2013 im ersten Umstellungsjahr auf ökologischen Landbau. Wegen lang anhaltender Trockenheit wurden viele Maisflächen im Raum Güssing schon Anfang August 2013 siliert. Auch der Betriebsleiter der LFS entschied sich am 5.8.2013 wegen der anhaltenden Trockenheit zu einer Noternte sämtlicher Maisbestände. Auf der Versuchsfläche wurde unmittelbar im Anschluss das S-ZF-Biogasmix angebaut. Der Maisbestand war insbesondere in V0 und V1 nach vorhergehender Schwarzbrache und gemulchter ZF stark verunkrautet. Die Varianten, bei denen die ZF unmittelbar vor dem Anbau beerntet wurde, erreichten mit durchschnittlich 7 t TS/ha um ca. 50% höhere

geringer. Block A lag mit 581 kg/ha 25 % unter dem Durchschnitt und Block B mit 876 kg/ha 12 % darüber.

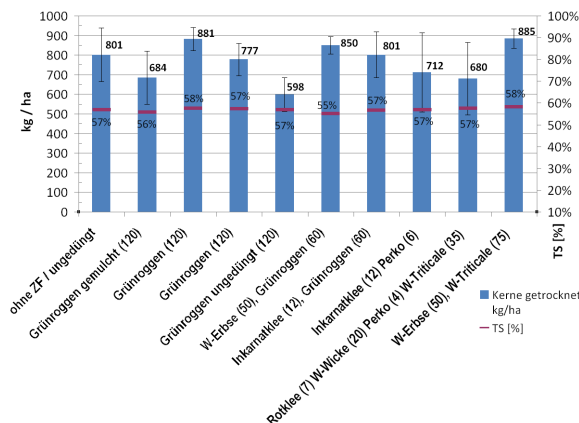


Abb. 36 Öl-Kürbis-Kernerträge Hasendorf 2011 nach unterschiedlichen W-ZF mit und ohne Beerntung

Die W-ZF-Erträge variierten zwischen den Variaten beträchtlich. Grünschnittroggen in Reinkultur und Mischungen mit Grünschnittroggen, die gedüngt wurden, erreichten bis 2,5 im Durchschnitt 4,9 t TS/ha. Ohne Düngung war der Ertrag nur halb so hoch. Varianten ohne Grünschnittroggen lagen im Schnitt bei nur 3,6 t TS/ha. Eine Kleeergrasuntersaat im vorhergehenden Kürbis erreichte mit 2,4 t TS/ha das Niveau von ungedüngtem Grünschnittroggen.

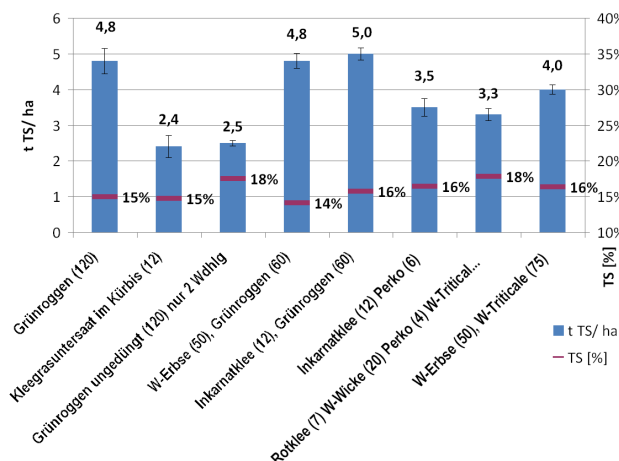


Abb. 37 W-ZF-Trockenmasseerträge Hasendorf/Leibnitz 2.5.2012

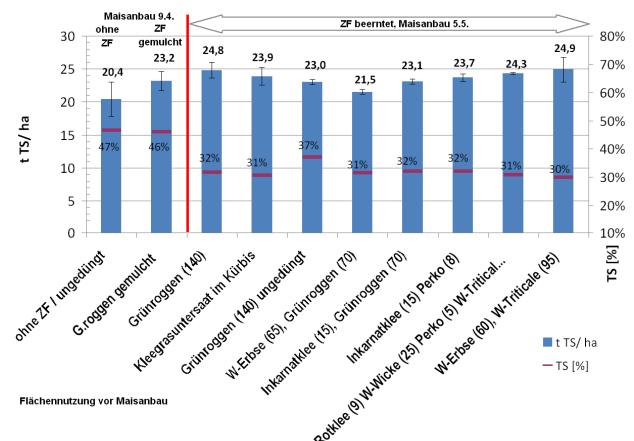


Abb. 38 Silomais-Trockenmasseerträge Hasendorf/Leibnitz 2012 mit unterschiedlichen Anbauterminen nach Schwarzbrache, Gründüngung und beernteten W-ZF

Der Silomaisertrag in Hasendorf nach W-ZF-Beerntung und späterem Anbau war 2012 mit 23,7 t TS/ha ca. 8 % höher als bei V0 und V1. Die besten Varianten erreichten 25 t TS/ha. Der Kolbenenertrag war bei den früher angebauten Varianten mit 14,2 t TS/ha 8 % höher als beim Anbau nach W-ZF-Ernte. Die W-ZF-Ernte erfolge in Hasendorf wegen intensiver Regenfälle einige Tage später als geplant am 13. Mai 2013. Die gedüngten Varianten lagen im Durchschnitt bei 6,4 t TS/ha. Variante 3 erreichte auf zwei Wiederholungen 7,4 t TS/ha. Die Sojaerträge lagen auf dem leichtem Standort trockenheitsbedingt unter der Ertrags-erwartung. Die Varianten nach beernteten W-ZF erreichten im Durchschnitt 1,5 t/ha bei 9% Endfeuchte. Block B war wesentlich besser entwickelt und weniger verunkrautet, als die beiden anderen Blöcke, und erreichte deshalb mit 2,1 t/ha ein um 70 % höheres Ertrags-niveau als der Durchschnitt aller drei Blöcke. V0 und V1 waren stärker verunkrautet und

lagen im Ertrag mit 1,0 t/ha 34 % unter den anderen Varianten. Auf Block B erreichten V0 und V1 1,9 t/ha. Sie waren damit nur 12 % schwächer als V2 – V9 auf Block B.

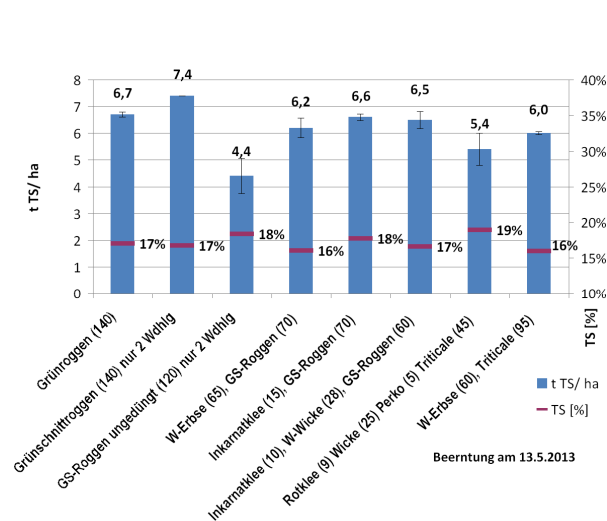


Abb. 39 W-ZF-TM-Erträge Hasendorf/Leibnitz 13.5.2013

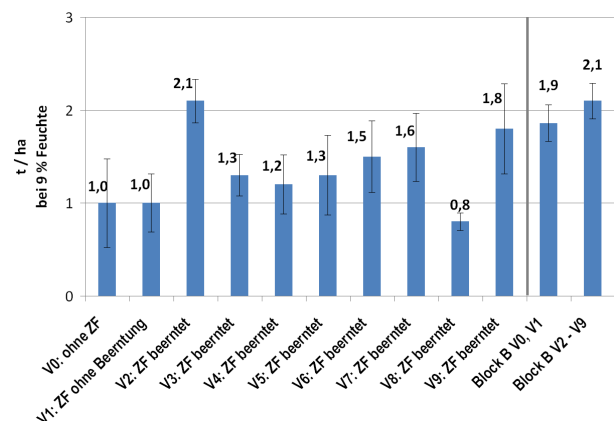


Abb. 40 Soja-Erträge (9 % Feuchte) in Hasendorf/Leibnitz 2013 (Anbau 16.5.2013)

2014 wurden die W-ZF wegen des warmen Frühlings schon am 29. April. beerrntet. Die gedüngten Varianten lagen im Durchschnitt bei 4,3 t TS/ha. Block B erreichte 4,9 t TS/ha.

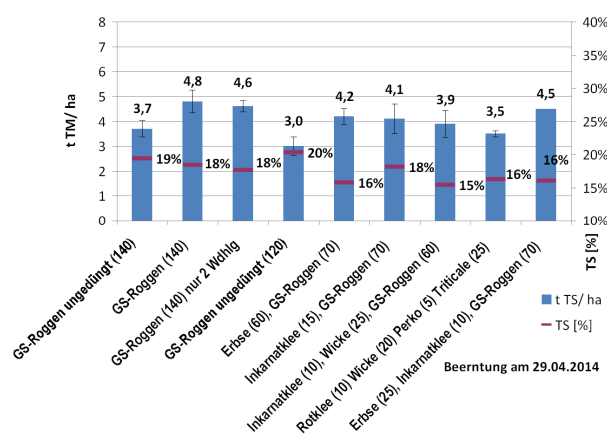


Abb. 41 W-ZF-Trockenmasseerträge Hasendorf/Leibnitz 29.4.2014

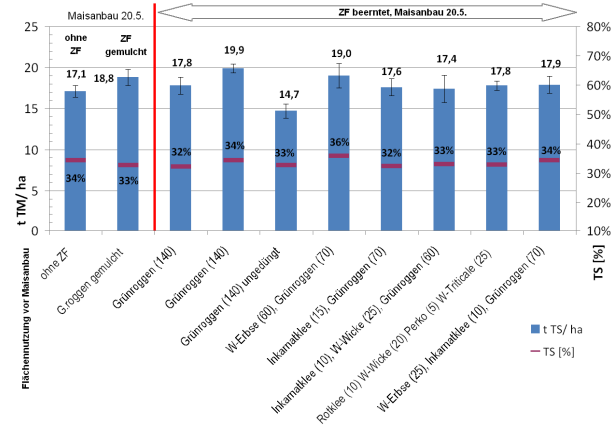


Abb. 42 Silomais-Trockenmasseerträge Hasendorf/Leibnitz 2014 nach witterungsbedingt spätem Anbau am 20.5.2014

Der Mais konnte 2014 witterungsbedingt auf allen Parzellen erst sehr spät am 20. Mai angebaut werden. Dennoch wurden bis 29.9. Erträge von 18,0 t auf V0 und V1 und 18,2 auf den restlichen Parzellen erreicht, auf denen W-ZF gedüngt und beerrntet wurden. Lediglich auf Variante 4, auf der die W-ZF beerrntet aber nicht gedüngt wurde, blieb der Ertrag mit 14,7 t TS/ha um ca. 20% niedriger.

15.1.4 Streifenversuch in Ottstorf bei Thalheim/Wels (OÖ)

Die dem Mais vorhergehend angebaute Mischung aus Sommer- und Winter-ZF bzw. Untersaaten, konnte keinen erntewürdigen Bestand bilden, weil sie erst Mitte August angebaut wurde und die Keimlinge von Schnecken unmittelbar nach Auflaufen abgefressen worden waren. Die durchschnittlichen Körnermaiserträge der Varianten betrugen zwischen 7,7 und 10,5 t/ha bei 14 % Endfeuchte.

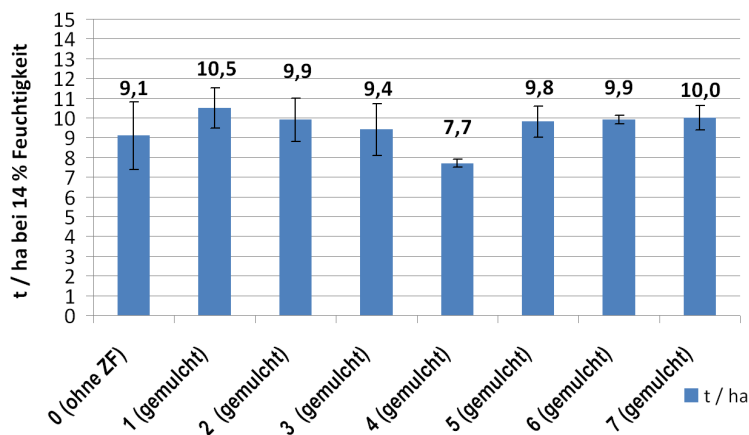


Abb. 43 Körnermaiserträge bei 14 % Endfeuchte Ottstorf 2011

Der Versuchslandwirt des Streifenversuchs Ottstorf entschloss sich im Winter 2011/2012 zur Umstellung auf ökologischen Landbau und im Besonderen auf ein pflugloses Verfahren nach Wenz (www.eco-dyn.com). Diese grundlegende betriebliche Umgestaltung war mit entsprechenden pflanzenbaulichen Herausforderungen verbunden. Gleichzeitig führte sie auch dazu, dass im Bezug auf die Biogaserzeugung eine kritische Haltung eingenommen wurde und eine Düngung mit konventioneller Biogasgülle nicht mehr in Frage kam. Biologische Biogasgülle wäre für den Versuchsstandort nicht verfügbar gewesen. In Verbindung mit dem trockenen Frühjahr, starken Fraßschäden von Mäusen und anderem Wild bildeten die W-ZF nur lückige, schlecht entwickelte Bestände. Auf Teilflächen mit ausreichender Nährstoffversorgung erreichte der Grünschnittroggen am 4.5.2012 zwar TS-Erträge von 5 t/ha. Auf einzelnen Parzellen wurden Erträge zwischen 2 und 4 t TS/ha erreicht. Zahlreiche Parzellen blieben mit weniger als 2 t TS/ha nicht erntewürdig.

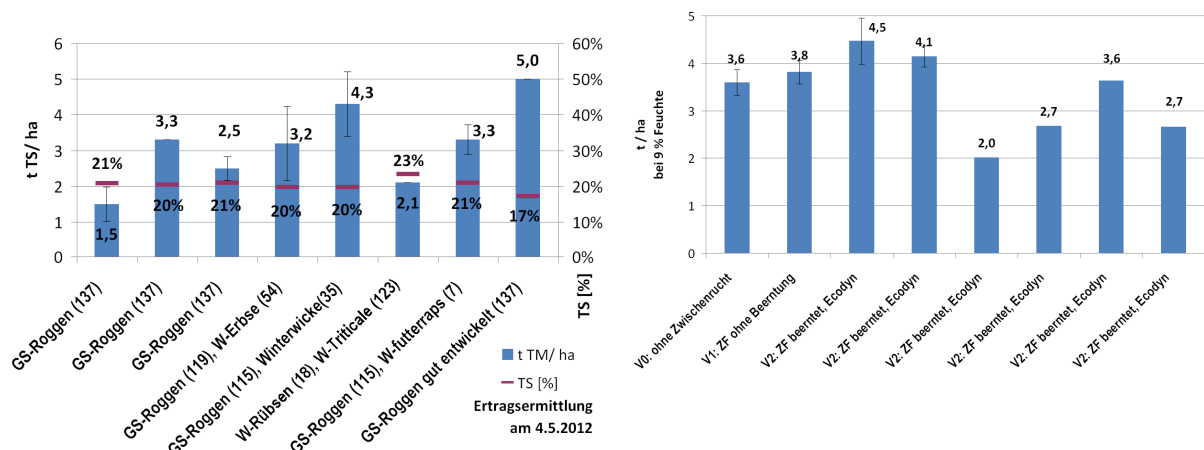


Abb. 44 W-ZF-TM-Erträge Ottstorf Thalheim/Wels am 4.5.2012

Abb. 45 Soja-Erträge (9 % Feuchte) in Ottstorf Thalheim/Wels 2012

Soja wurde 2012 im ersten Umstellungsjahr ohne Bodenbearbeitung mit dem Eco-Dyn direkt in die Stoppeln gedrillt. Die Sojaerträge erreichten in Folge wegen starker Verunkrautung im Durchschnitt ca. 3 t/ha bei 9 % Endfeuchte. Auf Teilen der Fläche blieben sie unter 2 t/ha. In Parzellen mit niedrigem Unkrautdruck wurden auch Erträge von ca. 4 t/ha erreicht.

15.1.5 Blockversuche Rohrau und Schönabrunn bei Bruck/Leitha (NÖ)

Die im Sommer 2011 angebaute ZF-Mischung entwickelte sich aufgrund der widrigen Witterungsbedingungen schwach (3,3 bzw. 3,6 t/ha TM in Rohrau und 1,6 t TM in Schönabrunn) und wurde wegen mangelnder Erntewürdigkeit vom Landwirtschaftsbetrieb Ende November 2011 auf V1 und V2 eingegrubbert.

Nach Schwierigkeiten mit dem ersten Anbau wurde am 2. 6. 2012 nochmals Soja (Sorte Primus) angebaut. Die Sojabohne erbrachte am Standort Rohrau Erträge von 2470 bis 3850 kg/ha, wobei die Variante 0 die signifikant höchsten Erträge erzielte. Der Proteingehalt lag zwischen 37 % (V0) und 40 % (V2), der Unterschied war aber statistisch nicht signifikant. Damit ergaben sich N-Entzüge von 132 kg/ha (V1), 146 kg/ha (V2) und 200 kg/ha (V0). Am Standort Rohrau lagen am 2.5.2012 in der obersten Bodenschicht (0-30 cm) in V0 55 kg/ha N_{min} vor, in den Varianten 2 und 1 38 bzw. 33 kg/ha. Im gesamten Bodenprofil von 0-90 cm betrug der N_{min} -Gehalt in der Var. 0 116 kg/ha gegenüber 60 bzw. 48 kg/ha in den Varianten 2 und 1. Der Wassergehalt war in der obersten Bodenschicht etwa gleich, in 30-60 cm Tiefe in der Variante 0 um 0,7 bis 1,4 % höher und in 60-90 cm Tiefe in der Variante 0 um 1,9 bis 2,4 % höher als in den beiden anderen Varianten. Der erhöhte N_{min} -Gehalt erlaubte zusammen mit der etwas besseren Wasserversorgung in der Var. 0 eine schnellere Jugendentwicklung der Sojapflanzen, wodurch ihre Wurzeln rascher in die tieferen Bodenschichten vordringen konnten. Dadurch gewann V0 einen Wachstumsvorsprung. Der höhere N_{min} -Gehalt in V0 rührte noch vom fehlenden Entzug durch die S-ZF 2011 und der aufgrund der Schwarzbrache angeregten zusätzlichen N-Mineralisierung her. In V1 und V2 wurden aufgrund der extrem trockenen Witterung die in der ZF-Biomasse befindlichen 42 kg/ha N (C/N-Verhältnis von 35) über den Winter nicht als N_{min} freigesetzt.

Auf beiden Standorten war noch nie zuvor Soja angebaut worden. Impfung und Nodulierung waren erfolgreich aber nicht intensiv, der Ertrag und Proteingehalt wurden aber vom bodenbürtigen Stickstoff dominiert.

Am Standort Schönabrunn waren die Erträge geringer (1694 kg/ha Var.1, 1705 kg/ha V2 und 1986 kg/ha V0) und statistisch nicht verschieden. Die Proteingehalte lagen zwischen 40 % in V1 und 43 % in V2. Daraus errechnen sich N-Entzüge von 95 kg/ha (V1), 102 kg/ha (V2) und 117 kg/ha (V0). Der insgesamt niedrigere Ertrag am Standort Schönabrunn erklärt sich durch die geringen Niederschläge und fehlende Winterfeuchte, da dieser Standort weniger tiefgründig und trockener ist als der Standort Rohrau.

Am Standort Schönabrunn bestanden Anfang Mai 2012 vor dem Sojaanbau nur geringe Unterschiede hinsichtlich N_{min} und Wassergehalt des Bodens zwischen den Varianten. Die ZF 2011 war am Standort Schönabrunn schwächer entwickelt gewesen als am Standort Rohrau und hatte nur eine TM von 1,6 t/ha, aber mit einem engeren C/N-Verhältnis von 26 erzielt, sodass die Biomasse über Winter auf diesem Standort zum Teil mineralisiert wurde. Unmittelbar nach der Soja-Ernte 2012 erfolgte der Anbau der W-ZF Grünschnittroggen (mit geringem Anteil an W-Wicke und Inkarnatklée). Die W-ZF wurde am 16. 4. 2013 mit Biogasgülle gedüngt (28,3 t/ha in Rohrau bzw. 27,8 t/ha in Schönabrunn). Damit wurden 67 kg/ha N_{ges} , davon 17 kg/ha als NH_4-N aufgebracht. Am 18.4. wurde in V1 die ZF umgebrochen.

Der Grünschnittroggen erreichte bis 7. 5. 2013 am Standort Rohrau eine FM von 31 t/ha, das entspricht einer TM von 5204 kg/ha bei einem Leguminosenanteil von 2,6 % (Gew.-% in FS). Am Standort Schönabrunn betrug die FM 27,5 t/ha, das entspricht einer TM von 5264 kg/ha, und der Leguminosenanteil 7,1 %.

Nach der Beerntung des Grünschnittroggens zur Biogasnutzung erfolgte eine Bodenbearbeitung (1 x Scheibenegge, 1 x Grubber), die jedoch die Wurzeln des Grünschnittroggens nicht vollständig zerkleinern konnte. Anschließend wurde am 14. 5. 2013 Mais angebaut. Der Wassergehalt des Oberbodens (0-30 cm) war zu diesem Zeitpunkt in V2 um 3%-Punkte geringer als in den beiden anderen Varianten. Der N_{min} -Gehalt war am Standort Rohrau in der Var. 2 im Oberboden weniger als halb so hoch wie in den anderen beiden Varianten. Im gesamten Bodenprofil lagen in V0 100 kg N_{min} /ha vor, in V1 67 kg/ha und in V2 31 kg/ha. Am Standort Schönabrunn waren die Verhältnisse ähnlich, nur auf niedrigerem Niveau.

Die noch nicht verrotteten Stängel- und Wurzelreste der W-ZF bereiteten bei der maschinellen Unkrautbekämpfung Probleme, weil das Gerät nicht darauf eingestellt war, sodass ein relativ großer Unkrautdruck entstand. Außerdem trat in den ZF-Varianten, besonders in Var.2, starker Schädlingsbefall auf. Dies schlug sich auf den Maisertrag nieder. Der Körnermais wurde am 21. 10. 2013 geerntet. Der Kornertrag (bei 14 % Feuchte) betrug am Standort Rohrau in der V1 5,4 t/ha und in V2 5 t/ha. In V0 war er mit 7,9 t/ha signifikant höher. Am Standort Schönabrunn war der Kornertrag in V1 mit 3,3 t/ha etwa gleich hoch wie in V0 (3,2 t/ha). In V2 betrug er nur 2,1 t/ha. Die Unterschiede am Standort Schönabrunn waren nicht statistisch signifikant.

Die Ergebnisse zeigten, dass es erforderlich wäre, dem Mais im Jugendstadium eine zusätzliche Biogasgülle-Düngung zu geben, um den Nährstoffentzug und die N-Immobilisierung durch die Erntereste des Grünschnittroggens zu kompensieren. Auf diesen Standorten war das nicht möglich, weil die seit langem viehlosen Betriebe in der Umgebung von Bruck/Leitha über keine eigenen Güllefässer zur individuellen Düngung mehr verfügen und ein Mietgerät nur im Rahmen einer Düngekampagne rentabel ist. Weitere Probleme bereitete die beträchtliche Stängel- und Wurzelmasse des Grünschnittroggens, die unter den trockenen Bedingungen in kurzer Zeit nicht ausreichend abgebaut wird. Diese Schwierigkeiten müssten aber mit geeigneter Maschinenausstattung bzw. -einstellung bewältigbar sein.

Am 28.10.2013 erfolgte der Anbau der W-ZF Grünschnittroggen (mit geringem Anteil an Winterwicke und Inkarnatklée). Am 13.12.2013 und am 26.2.2014 war der N_{min} -Gehalt des Bodens (0-90 cm) am Standort Rohrau in der V2 bei 42 bzw. 49 kg/ha, um 10-15 kg/ha höher als in den anderen beiden Varianten. Am Standort Schönabrunn unterschieden sich die Varianten kaum. Beim Bodenwassergehalt bestand bei keinem der beiden Standorte ein wesentlicher Unterschied zwischen den Varianten.

Aufgrund der Trockenheit im Winter bildete die ZF keinen erntewürdigen Bestand. Am 7.4. betrug die Trockenmasse der Zwischenfrucht in Rohrau rund 0,8 t/ha und in Schönabrunn rund 1,2 t/ha (Daten aus Quadratmeterernte). Von November bis einschließlich März waren statt der durchschnittlichen langjährigen Niederschlagsmenge von 179 mm nur 128 mm gefallen (ZAMG, Messstation Bruckneudorf). Die Zwischenfrucht wurde auf V1 und V2 am 8.4.2014 umgebrochen. Der Anbau der Hauptfrucht Soja erfolgte am 28.4.2014, die Ernte

am 26.9.2014. Am Standort Rohrau lag der Sojaertrag der Varianten zwischen 4,8 und 5,4 t/ha (bei 14 % Feuchte) ohne signifikante Unterschiede zwischen den Varianten. Am Standort Schönabrunn betrug der Sojaertrag in allen Varianten rund 4 t/ha.

Tab. 9 Erträge von Hauptkulturen und Zwischenfrüchten der Standorte Schönabrunn und Rohrau

	Standort Rohrau			Standort Schönabrunn			Durchschnitt		
	V0 ohne ZF	V1 ZF gemulcht	V2 ZF beerntet	V0 ohne ZF	V1 ZF gemulcht	V2 ZF beerntet	V0 ohne ZF	V1 ZF gemulcht	V2 ZF beerntet
Erträge Sojabohne 2012									
Ertrag (bei 13 % Feuchte; kg/ha)	3845 a	2473 b	2615 b	1986 a	1694 a	1705 a	2915,5	2083,5	2160
Proteingehalt (% TS)	37,2 a	38,2 a	40,2 a	42,1 a	40,4 a	43,0 a	39,65	39,3	41,6
N-Entzug (kg/ha)	199,5 a	131,5 b	146,0 b	116,9 a	94,8 a	101,8 a	158,2	113,15	123,9
Trockenmasseertrag Winterzwischenfrucht 2012/13 (kg/ha), 7.5.2013									
Trockenmasse (kg/ha)	-	n.b.	5204	-	n.b.	5264	-	n.b.	5234
N-Entzug (kg/ha)	-	n.b.	90,5	-	n.b.	76,4	-	n.b.	83,45
Erträge Körnermais 2013									
Ertrag (bei 14 % Restfeuchte; kg/ha)	7908 a	5370 b	4967 b	3249 a	3308 a	2095 a	5578,5	4339	3531
Proteingehalt (% TS)	6	5,5	5,9	8,6	8,9	9,3	7,3	7,2	7,6
N-Entzug (kg/ha)	65,6 a	40,5 b	40,3 b	37,9 a	39,3 a	26,1 a	51,75	39,9	33,2
Trockenmasseertrag Winterzwischenfrucht 2013/14 (kg/ha), 7.4.2014									
Trockenmasse (kg/ha)	-	700	900	-	1130	1180	-	915	1040
N-Entzug (kg/ha)	-	15,7	24,7	-	24,9	27,9	-	20,3	26,3
Erträge Sojabohne 2014									
Ertrag (bei 14 % Feuchte; kg/ha)	5441,4 a	5002,6 a	4844,4 a	4017,9 a	3906,1 a	4011,2 a	4729,7	4454,4	4427,8

15.1.6 Winterzwischenfrucht-Herbstdüngungsversuch Pölla bei Mank (NÖ)

Beim Düngungsversuch in Pölla konnte durch die zusätzliche Düngung der W-ZF Anfang Oktober bei einheitlicher Düngung im Frühjahr eine Ertragssteigerung erreicht werden (siehe Abb. 46). Gleichzeitig wurden damit jedoch auch die $N_{\min}$ -Werte von 24 auf 41 bzw. 64 kg $N_{\min}$ /ha vor der Auswaschungsperiode erhöht. Ohne Herbstdüngung lag der TS-Ertrag am 2.5.2014 bei 5,0 t/ha. Mit 15 m³ Biogasgülle (N_{ges} feldfallend ca. 67 kg/ha; Anteil $N_{\min}$ ca. 36 kg/ha) am 2.10.2013 erhöhte sich der TS-Ertrag um 28 % auf 6,4 t/ha. Mit 25 m³ Biogasgülle (N_{ges} feldfallend ca. 112 kg/ha; Anteil $N_{\min}$ ca. 60 kg/ha) wurde eine TS-Ertragssteigerung gegenüber der Variante ohne Herbstdüngung um 48 % auf 7,4 t/ha erreicht.

Der nachfolgende Mais wurde auf der gesamten Fläche am 7.5.2014, ca. 1 Woche später als auf anderen Flächen des Betriebs angebaut. Die Silomaisserträge der Varianten ohne ZF bzw. mit gemulchter ZF waren mit 15,8 t TS/ha bzw. 16,4 t TS/ha auf ähnlichem Niveau wie der Ertrag der Parzelle, auf der die W-ZF nur im Frühjahr gedüngt wurde (16,2 t TS/ha). Auf der Parzelle, auf der der Roggen auch im Herbst mit 15 m³ Biogasgülle gedüngt wurde war der Ertrag mit 20,3 t TS/ha um ca. 25 % höher. Bei der Düngungsstufe mit 25m³ Biogasgülle fiel die Ertragssteigerung mit ca. 5 % auf 17 t TS/ha gegenüber der Variante ohne Herbstdüngung allerdings geringer aus.

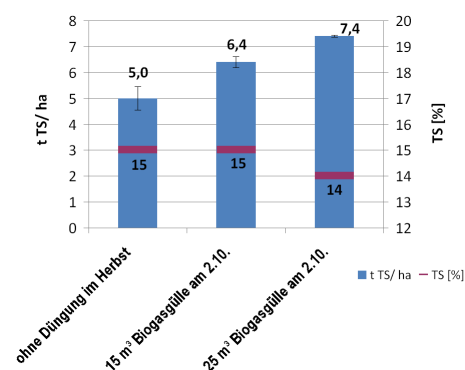


Abb. 46 Grünschnittstroggen-TS-Erträge am 2.5.2014 nach unterschiedlicher Düngung im Herbst und einheitlicher Düngung mit 30 m³ Biogasgülle im Frühjahr

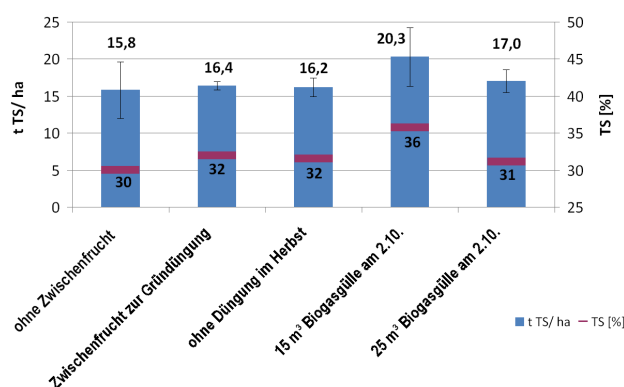


Abb. 47 Silomais-TS-erträge nach Grünschnittstroggen am 2.5.2014 mit unterschiedlicher Düngung im Herbst und Nutzung für Biogas, Gründung sowie nach Schwarzbrache

15.1.7 Zusammenfassung der ermittelten Trockenmasseerträge

In Tab. 10 und Tab. 11 sind die durchschnittlichen Erträge der Versuche, die im Rahmen von Syn-EnergyII und Syn-Energy ermittelt wurden, unter Angabe des Datums von Anbau und Ernte zusammenfassend dargestellt. Bei W-ZF wurde neben dem durchschnittlichen Ertrag gedüngter W-ZF auch der Ertrag ungedüngter Parzellen angegeben. Ergänzend wurde der minimale und maximale Ertrag erntewürdiger Parzellen angegeben. Bei den Hauptkulturen wurde neben den Erträgen der Varianten ohne ZF (V0), mit gemulchter ZF (V1) und beernteter ZF (V2–x) für Mais, Soja und Kürbis auch die Ertragsänderung von V2-x in Relation zum Durchschnitt von V0 und V1 angegeben.

Tab. 10 Erträge und Anbauermine von Zwischenfrüchten und Hauptkulturen auf den Versuchsflächen in Güssing einschließlich Ergebnisse der Ergebnisse des Vorgängerprojektes Syn-Energy I

Kultur (HF mit Angabe Endfeuchte)	Anbau ZF u. HF nach ZF- Ernte	Ernte HF und ZF	Zwischenfruchtertrag				Hauptfrucht (HF)			
			Durch- schnitt	WZF unge- düngrt	ZF min	ZF max	V0 ohne ZF	V1 ZF ge- mulcht	V2-x ZF be- erntet	Ertrags- änderung zu V0, V1
			t TS/ha							%
S-ZF	28.07.2009	15.10.2009	3,2		-	4,4				
W.-Weizen¹ (9%)	18.10.2009	18.07.2010					4,8	1,8	4,9	2%
Gemenge aus S- ZF und W-ZF	20.07.2010	11.10.2010	2,3		1,6	3,5				
		06.05.2011	2,9		2	4,2				
Silomais	11.05.2011	28.09.2011					27	26,7	24,3	-9%
W-ZF	01.10.2011	08.05.2012	5,3	4,7	4,4	6,6				
Soja (9%)	10.05.2012	18.09.2012					3,7	4,1	3,8	-3%
W-ZF	19.09.2012	09.05.2013	5,5	4,6	4	6,9				
Silomais²	10.05.2013	06.08.2013					5,8	3,8	7	46%
S-ZF Biogasmix³	08.08.2013	09.10.2013	2		-	2,1				
W-ZF	10.10.2013	28.04.2014	5,2	3,5	4,2	6,4				
Silomais⁴	10.05.2014	25.09.2014					7,7	7,8	6,3	-18%

¹ V1 bis V3 nicht berücksichtigt, weil Gräserbekämpfung nicht durchgeführt wurde

² Biologische Betriebsführung; extreme Trockenheit im Juli deshalb Noternte

³ schlechte Anbauqualität auf extrem trockenem, schwerem Boden; Verschleppung durch nachfolgenden Starkregen und in verschleppten Blöcken B und C sehr lückiger Feldaufgang

⁴ Biologische Betriebsführung: feuchte Witterung im Mai und Juni, deshalb hohe Verunkrautung weil nicht oder nur mit unzureichendem Effekt gehackt werden konnte

Tab. 11 Erträge und Anbauermine von Zwischenfrüchten und Hauptkulturen auf den Versuchsflächen in Hasendorf (Leibnitz), Ottstorf (Thalheim/Wels), Pölla (Mank), Schönabrunn/Rohrau (Bruck/Leitha) einschließlich Ergebnisse der Ergebnisse des Vorgängerprojektes Syn-Energy I

			Zwischenfruchtertrag				Hauptfrucht (HF)				
Kultur (HF mit Angabe Endfeuchte)	Anbau ZF u. HF nach ZF- Ernte	Ernte HF und ZF	Durch- schnitt	WZF unge- düngt	ZF min	ZF max	V0 ohne ZF	V1 ZF ge- mulcht	V2-x ZF be- erntet	Ertrags- änderung zu V0, V1	früherer Anbau von V0, V1
			t TS/ha							%	
Hasendorf (Leibnitz)											
W-ZF	13.09.2009	03.05.2010	4,5	3,6	3,7	5,7					
Silomais ¹	04.05.2010	10.09.2010					18	19,6	16,4	-10%	20.04.2010
W-ZF	01.10.2010	26.04.2011	2,8	1,6	-	3,8					
Öl-Kürbis (Kerne)	02.05.2011	17.09.2011					0,8	0,68	0,77	4%	
W-ZF	23.09.2011	02.05.2012	4,2	2,5	2,9	5,5					
Silomais	05.05.2012	17.09.2012					20	23,2	23,6	8%	09.04.2012
W-ZF	21.09.2012	13.05.2013	6,4	4,4	4	7,4					
Soja ² (9%)	16.05.2013	22.09.2013					1	0,96	1,48	52%	
W-ZF	04.10.2013	29.04.2014	4,2	3	2,6	5,6					
Silomais	20.05.2014	29.09.2014					17	18,8	18,2	1%	
Ottstorf (Thalheim/Wels)											
S-ZF ³	23.07.2009	15.10.2009	3,1		2,1	4,2					
Winterweizen (9%)	21.10.2009	10.08.2010					6,1	6,8	6,5	-2%	
Gemenge aus S- ZF und W-ZF ⁴	13.08.2010	16.10.2010	-		-	2,4					
Körnermais (14 %)	23.04.2011	27.09.2011					9,1	10,5	9,5	-3%	
W-ZF ⁵	28.09.2012	06.05.2012		3,1	-	5,2					
Soja ⁶ (9 %)	07.05.2012	20.09.2012					3,3	3,5	3,4	0%	
Pölla (Mank)											
W-ZF ohne Herbstdüngung	07.10.2013	06.05.2014	5,0		3,9	5,6					
W-ZF 15m ³	07.10.2013	06.05.2014	6,4		6,0	6,9					
W-ZF 25m ³	07.10.2013	06.05.2014	7,4		7,3	7,5					
Silomais	07.05.2014	25.09.2014					16	16,4	17,9	11%	
Durchschnitt Schönabrunn und Rohrau (Bruck/Leitha)											
W-ZF ⁷	01.10.2012	10.05.2013	5,2								
Körnermais (14 %)	14.05.2013	21.10.2013					5,6	4,3	3,5	-29%	

¹ vorhergehende Gründüngung auf V1 versehentlich gedüngt, daher Ertragsänderung relativ zu V0 ermittelt

² Anbau erst am 16.5., Trockenheit im Sommer, starke Verunkrautung von Block A und C, Block B mit 2,11 t 70 % höherer Ertrag als Durchschnitt aller 3 Blöcke

³ Verschleppung durch Starkregen kurz nach Anbau

⁴ Totalausfall: später Anbau, keine geeignete Anbautechnik verfügbar, keine Düngung zur Strohrotte, Schneckenfraß an Keimlingen

⁵ Umstellung auf Biologischen Landbau; keine Düngung im Frühjahr! Anbau mit Ecodyn mit suboptimaler Samen-Ablage

⁶ Biologische Betriebsführung ohne Pflanzenschutz und Hacke

⁷ Versuchsdurchführung auf Bioflächen nach Richtlinien den Biologischen Landbaus

15.1.8 Beispiele von Fruchtfolgen für Biogas aus ZF mit jährlich einer ZF-Ernte

Aus den Feldversuchen und der praktischen Erprobung kann abgeleitet werden, dass bei entsprechender Fruchtfolgegestaltung theoretisch jährlich eine ZF-Ernte für die Biogaserzeugung möglich ist. In viehlosen, biologischen Fruchtfolgen ergibt sich durch die

Biogaserzeugung die Möglichkeit, auch Klee gras energetisch zu verwerten. Wenn S-ZF und W-ZF aufeinanderfolgen können auch winterharte Gemenge mit zweimaliger Beerntung (z. B. Landsberger Gemenge) abgebaut werden, statt eine W-ZF nach der S-ZF-Ernte zu säen.

Tab. 12 Beispiele von Fruchtfolgen für Biogas aus ZF mit jährlich einer ZF-Ernte

Marktf Früchte ohne Tierhaltung	Ackerbau mit Tierhaltung und Futternutzung	Biolandbau ohne Tierhaltung
Mais/Soja	Mais/Soja	Klee gras (ein- oder zweijährig für Biogaserzeugung beerntet) Anbau ggf. im Gemenge mit GS-Roggen oder Johannisroggen
W-Gerste	W-Gerste	
S-ZF	S-ZF	
W-Weizen	W-Weizen /W-Gerste/W-Triticale	W-Weizen/Dinkel
S-ZF	S-ZF	S-ZF (eventuell als Untersaat)
W-ZF	W-ZF	W-ZF
Mais/Soja	Mais	Soja
W-ZF	W-ZF	Dinkel/W-Roggen/W-Gerste
Soja/Zuckerrübe/Ölkürbis	Mais/Soja	S-ZF (eventuell als Untersaat)
W-Weizen	WTriticale	W-ZF
S-ZF	S-ZF	Soja/Kartoffel
W-ZF	W-ZF	

15.2 Methanerträge

Die Batch-Gärversuche wurden in den Gärstationen der JOANNEUM RESEARCH Forschungsgesellschaft mbH durchgeführt. Die Gärapparaturen sind nach DIN 38414-8 ausgeführt. Die Bestimmung erfolgte im zweifachen Ansatz. Dabei erfolgte die Gasmengenmessung in Eudiometerrohren. Die Versuchsdurchführung erfolgt entsprechend den Vorschriften in der VDI-Richtlinie 4630 „Vergärung organischer Stoffe“. Für die Untersuchung wurden die Ansätze für 42 bis 46 Tage bei 38 bis 39°C inkubiert bis der Zuwachs an täglich gebildetem Biogas weniger als 1% pro Tag bezogen auf Gesamtbio gasmenge betrug. Die Gasqualität wurde mit einem tragbaren Gasanalysator GA 2000+ der Firma Geotechnical Instruments gemessen. Dieses wurde vor jeder Messung auf eine Gasmischung (59,8% CH₄; 30,0% CO₂; Rest N₂) kalibriert. Der Methangehalt wurde aus der gebildeten Biogasmenge und der gemessenen Methankonzentration der einzelnen Ansätze abzüglich des Referenzansatzes (Impfschlamm) ermittelt. Zur Bestimmung der Trockensubstanz nach DIN 38414 – S2 wurden die Proben für mindestens 48h bei 105°C getrocknet. Ein- und Auswaage erfolgte auf einer Kern PRJ 620-3M Analysenwaage. Zusätzlich wurden einige Proben der Serie 3 bei 70°C getrocknet. Zur Bestimmung der organischen Trockensubstanz (oTS) nach DIN 38414 – S3 wurden die getrockneten und ausgewogenen Proben aus der vorangegangenen TS-Bestimmung für mindestens 6 Stunden bei 600°C verascht und der Glührest auf einer Kern PRJ 620-3M Präzisionswaage ausgewogen.

Tab. 13 Methangehalte bezogen auf organische TS und TS sowie Methanerträge pro ha von W-ZF und S-ZF; Ermittlung der CH₄-gehalte in Batchgärversuchen mit zweifacher Wiederholung und Vergleich mit errechneten Methanerträgen aus Futterwertanalysen nach BASERGA

	Zusammensetzung Versuchsstandort, Jahr	TS	oS	oTS	Bio- gas- gehalt	Feh- ler	CH ₄ - gehalt oTS	Feh- ler	CH ₄ - gehalt TS	CH ₄ - anteil	ZF- TS-Er- trag	CH ₄ - ertrag pro ha	CH ₄ - Gehalt BAS- ERGA	Diff. Batch- Baserga
		(%FM)	(%TS)	(%FM)	[NI/kg oTS]			[NI/kg TS]		(%)	t/ha	[Nm ³ /ha]	[NI/kg oTS]	
S-ZF	Biogasmix Güssing	14,8	90,3	13,4	619	7	317	1	286	51	6,9	1970	266	-51
S-ZF	Biogasmix Schalchen	16,1	94,1	15,1	514	20	245	13	231	48	7,6	1760	259	14
	Mittelwerte S-ZF	15	92	14	567	14	281	7	259	50	7,0	1870	263	-19
W-ZF	GS-Roggen Gü 2012	18,6	93,9	17,4	629	23	327	12	307	52	5,6	1720	255	-72
W-ZF	GS-Roggen Gü 2013	16,9	92,0	15,5	528	3	269	4	247	51	6,1	1500	258	-11
W-ZF	GS-Roggen Gü 2014	16,8	92,6	15,5	563	5	297	4	275	53	5,6	1530	242	-55
W-ZF	GS-Roggen Ha 2012	16,9	93,0	15,8	596	23	303	10	282	51	4,7	1320	273	-30
W-ZF	GS-Roggen Ha 2013	18,4	93,7	17,2	527	13	259	10	243	49	7,4	1810	262	3
W-ZF	GS-Roggen Ha 2014	17,1	94,3	16,1	562	46	296	18	279	53	5,6	1560	269	-27
	Mittelwerte GS-Roggen	17,5	93,3	16,3	568	19	292	10	272	52	5,8	1570	260	-32
W-ZF	GS-Roggen, Inkarnatklees Gü 2012	19,1	91,9	17,6	555	11	288	6	265	52	5,8	1540	257	-31
W-ZF	GS-Roggen, Inkarnatklees Gü 2013	14,8	91,1	13,4	531	71	274	52	250	51	5,0	1250	259	-15
W-ZF	GS-Roggen, Inkarnatklees Gü 2014	15,4	93,3	14,4	552	25	299	13	279	54	6,4	1800	244	-55
W-ZF	GS-Roggen, Inkarnatklees Ha 2012	15,9	92,1	14,6	660	17	346	1	319	52	5,0	1610	248	-98
W-ZF	GS-Roggen, Inkarnatklees Ha 2013	20,8	94,1	19,6	517	4	263	1	247	51	6,3	1560	267	4
	GS-Roggen, Inkarnatklees	17,2	92,5	15,9	563	26	294	15	272	52	5,7	1550	255	-39
W-ZF	W-Erbse, GS-Roggen Ha 2012	15,6	91,6	14,3	634	1	316	14	289	50	4,7	1350	250	-66
W-ZF	W-Erbse, GS-Roggen Ha 2013	15,7	93,2	14,6	611	14	294	0	274	48	7,1	1930	277	-17
W-ZF	W-Erbse, GS-Roggen Ha 2014	17,8	94,3	16,8	536	5	291	6	274	54	5,1	1400	251	-40
W-ZF	W-Erbse, GS-Roggen Gü 2014	15,9	91,9	14,7	568	19	301	15	277	53	5,8	1620	243	-58
	W-Erbse, GS-Roggen	16,3	92,8	15,1	587	10	301	9	279	51	5,7	1580	255	-45
W-ZF	GS-Roggen, Inkarnatklees (I.-Klee), W-Erbse Gü 2014	14,7	90,8	13,4	581	1	296	5	269	51	6,2	1650	245	-51
W-ZF	GS-R., I.-Klee, W-Erbse Ha 2014	16,0	94,0	15,1	552	20	299	6	281	54	4,7	1330	249	-50
W-ZF	GS-R., I.-Klee, W-Erbse Gü 2013	13,8	90,5	12,5	537	16	271	13	245	50	6,3	1540	260	-11
W-ZF	GS-R., I.-Klee, W-Erbse Ha 2014	16,9	94,0	15,9	575	15	308	7	290	54	5,2	1500	249	-59
W-ZF	GS-R., I.-Klee, W-Erbse Gü 2014	14,3	92,4	13,3	553	19	297	0	274	54	5,9	1610	240	-57
	GS-Roggen, Inkarnatklees, W-Erbse/W-Wicke	15,1	92,3	14,0	560	14	294	6	272	53	5,6	1530	249	-46
W-ZF	Rotklee, W-Wicke, Perko, W-Triticale Ha 2014	14,2	92,7	13,1	627	49	321	20	298	51	4,8	1440	266	-55
W-ZF	GS-Roggen, W-Erbse, W-Wicke, Rotklee Gü 2014	16,4	94,1	15,4	529	15	275	9	259	52	5,3	1370	254	-21
W-ZF	GS-Roggen, W-Erbse, W.-Triticale, Perko, Wicke, Inkarnatklees, Rotklee Gü 2012	20,3	92,1	18,7	575	5	299	5	275	52	5,2	1430	265	-34
	vielfältige Gemenge	17,0	93,0	15,7	577	23	298	11	277	52	5,1	1420	262	-37
	Mittelwert W-ZF Gesamt	16,6	92,8	15,4	569	18	295	10	274	52	5,6	1540	256	-39

Die in den Batchgärversuchen ermittelten Methangehalte gleicher ZF bzw. ZF-Gemenge aus verschiedenen Jahren variierten beträchtlich z. B. Grünschnittroggen zwischen 259 und 327 NI/kg oTS (siehe Tab. 13). Die im Jahr 2013 durchgeführten Versuche ergaben im Vergleich zu den beiden anderen Jahren relativ niedrige CH₄-Gehalte. In diesem Jahr lagen die aus Futterwertanalysen nach BASERGA errechneten Methangehalte zum Teil über oder nur wenig unter denen der Batchgärversuche. In den beiden anderen Jahren waren die CH₄-

Gehalte hingegen ca. 50 NI/kg oTS niedriger als die der Versuche. Mit dem Gemenge aus GS-Roggen und Inkarnatklees vom Versuch in Güssing wurde deshalb 2014 der Versuch wiederholt. Dabei ergab sich statt der 254 aus dem ersten Versuch ein Methangehalt von 274 NI/kg oTS. Leider konnten mit den verfügbaren Mitteln nicht alle Versuche wiederholt und geklärt werden, worauf die relativ niedrigen Gehalte zurückzuführen waren. Da das Ziel des Projektes die Abschätzung von Potenzialen und nicht die exakte Ermittlung bestimmter Flächen war wurden die gemessenen Werte dennoch für die Mittelwertbildung herangezogen.

15.3 Auswirkungen der ZF-Nutzung auf Humusgehalt und Bodenfruchtbarkeit

Die Methode der Humusbilanzierung ermöglicht ausgehend von der Kenntnis der Bewirtschaftung und der Fruchtfolge und der Inputs und Abfuhr an organischem Material zum bzw. vom betreffenden Feldschlag die Errechnung der zu erwartenden Veränderungen der Humusvorräte des Bodens. Dabei wird die Humuszufuhr durch organische Dünger, Stroh, Gründüngung und humusmehrende Fruchtarten dem fruchtartsspezifischen Humusabbau gegenübergestellt. Die standortangepasste Humusbilanzierungsmethode STAND (Kolbe, 2007) berücksichtigt darüber hinaus noch den standörtlichen Einfluss von Bodenart, Durchschnittstemperatur und Niederschlag auf den Humushaushalt.

Um den Beitrag der Wurzelbiomasse von ZF zum Humusaufbau zu bewerten, wurde die wissenschaftliche Literatur zu diesem Thema ausgewertet. Exemplarisch wurde die Auswirkung einer ZF zur Einarbeitung am Feld mit der einer Zwischenfrucht zur Biogasnutzung auf die Humusreproduktion verglichen. Weiters wurden i) Humusbilanzen aller Versuchsstandorte im Projekt mit den tatsächlichen Bewirtschaftungsdaten und Fruchtfolgen, ii) Humusbilanzen von Muster-Feldfrüchten und iii) Humusbilanzen typischer Praxisfruchtfolgen (insbesondere bei viehloser biologischer Bewirtschaftung) errechnet.

15.3.1 Humusbilanzmethodik

Für die Humusbilanzierung wurde die standortangepasste Humusbilanzmethode STAND nach Kolbe (2007) angewendet. Die Methode STAND unterscheidet je nach Bodenart, Bodentyp und Klimabedingungen sechs verschiedene Standortgruppen, die durch jeweils unterschiedliches Humusabbau- bzw. Humusakkumulationsverhalten charakterisiert sind. Die benötigten Bodendaten wurden der digitalen Bodenkarte eBOD (www.bodenkarte.at) entnommen und mit den vom Institut für Kulturtechnik erhobenen Analysenwerten abgeglichen. Die Humusreproduktionskoeffizienten des organischen Materials wurden aus Kolbe (2007) und Kolbe (2013) entnommen.

Die sich aus der Humusbilanzierung ergebenden Humusbilanzsalden werden in kg Humus-C/ha/Jahr ausgedrückt. Die mit der Humusbilanzmethode STAND errechneten Humusbilanzsalden wiesen in einem Vergleich verschiedener Humusbilanzmethoden eine sehr hohe Korrelation mit den in verschiedenen Feldversuchen gemessenen C_{org} -Werten im Boden und

deren Entwicklung auf (Kolbe, 2012). Dennoch sind die Humusbilanzsalden nicht als genaue Angaben, sondern eher als Trendabschätzung der Humusentwicklung zu betrachten.

Die Humusbilanzen der Versuchsstandorte wurden mit den tatsächlichen Fruchtfolgen, Zufuhren und Abfuhren auf den Versuchen und den tatsächlichen Boden- und Klimateigenschaften berechnet.

Die Humusbilanzen der Muster-Feldfrüchten und die Humusbilanzen typischer Praxisfruchtfolgen hingegen wurden jeweils für drei Standortvarianten – leichter, mittlerer und schwerer Boden, entsprechend Standortgruppe 3, 5 und 2 errechnet. Die zugeführte Biogasgüllemenge entspricht jeweils der aus ZF bei Biogasnutzung entstehenden Menge, berechnet nach Reinhold (2005).

15.3.2 Ergebnisse und Diskussion

15.3.2.1 Literaturstudie: Beitrag der Wurzelbiomasse von ZF zum Humusaufbau

Zur Wurzelbiomasse von ZF gibt es nur wenige Untersuchungen. Eine Auswertung der Studien, in denen die Wurzelbiomasse von ZF-Mischungen erntewürdiger Bestände erhoben worden war (Assinger, 2013; Erhart und Hartl, 2012; Hartl und Neuner; Rinnofer et al., 2008), ergab einen Mittelwert und Median der oberirdischen TM von 3,3 und 3,0 t ha⁻¹ und einen Mittelwert und Median der Wurzel-TM von 1,1 t ha⁻¹. Der Mittelwert der Spross : Wurzel-Verhältnisse lag bei 1: 0,4.

Die angeführten Wurzelbiomassen waren in allen Studien mit der Auswaschungsmethode ermittelt worden. Da bei der Auswaschungsmethode Biomasseverluste von 20-50 % auftreten (Sauerbeck und Johnen, 1976) würde das bedeuten, dass die tatsächliche Wurzelbiomasse eines ZF-Bestandes mit 3 t ha⁻¹ oberirdischer TM nicht bei 1,2 t ha⁻¹ (lt. Spross : Wurzel-Verhältnis 1 : 0,4), sondern bei 1,62 t ha⁻¹ liegt. Über die Wurzeln gibt die Pflanze Exsudate und Wurzelzellen in den Boden ab, deren Menge mit etwa einem Drittel der Wurzelbiomasse beziffert wird (Kuzyakov und Domanski, 2000). Bezogen auf einen ZF-Bestand mit 3 t ha⁻¹ oberirdischer TM wären das 0,53 t ha⁻¹ TM an Wurzelexsudaten, die durch die Wurzeln in den Boden eingebracht werden und dann in mikrobieller Biomasse und in organischer Bodensubstanz eingebaut sind. Damit würde bei dieser ZF bei einer Beerntung und Abfuhr der oberirdischen Biomasse noch 2,15 t ha⁻¹ TM an organischem Material im Boden verbleiben. Mit einer solchen ZF mit 3 t ha⁻¹ TM abgeführtem Ernteertrag wird also genauso viel pflanzliche Biomasse in den Boden eingebracht wie mit einer mäßig wüchsigen Begrünung (ca. 40 cm hoch, 1,25 t ha⁻¹ TM), die am Feld eingearbeitet wird. Wurzelrückstände werden zudem wesentlich langsamer abgebaut als Rückstände der oberirdischen Biomasse. Die mittlere Verweildauer von Wurzelrückständen im Boden ist mehr als doppelt so lang wie die von Spross- und Blattrückständen (Rasse et al., 2005; Bodner, 2012; Kastelliz et al., 2013). Die Gründe dafür liegen einerseits in der chemischen Zusammensetzung des Wurzelgewebes, andererseits aber auch in der raschen physiko-chemischen Assoziation von Wurzelexsudaten mit der Mineralphase, dem physikalischen Schutz von in Mikroporen eingewachsenen Wurzelhaaren vor dem Abbau und einem chemischen Schutz nach Interaktion mit Metallionen (Rasse et al., 2005).

Humusbilanzierungsmethoden bewerten die Auswirkung von Fruchtfolgen und zugeführter organischer Düngung auf die langfristige Humusentwicklung im Boden auf Basis der Ergebnisse zahlreicher Langzeitdüngungsversuche. Hier wird nicht der in den Boden eingebrachte Kohlenstoff, sondern der daraus im Bodenhumus verbleibende Anteil berechnet. Nach der Humusbilanzierungsmethode STAND (Kolbe, 2007) bringen W-ZF durch Wurzeln, Exsudate und Bodenruhe bis zu 370 kg Humus-C/ha, abfrostdende ZF bis zu 330 kg Humus-C/ha und Futterleguminosen zwischen 460 und 850 kg Humus-C/ha in den Boden. Die tatsächlich anrechenbaren Mengen an Humus-C/ha hängen jedoch stark vom Standort und der Bodenart ab. Auf Böden mit weiteren C/N-Verhältnissen und durchschnittlicher bis geringer Umsetzungsaktivität führt Gründüngung zu einer mäßigen bis deutlichen Verbesserung der Humusversorgung. Auf sehr umsetzungsaktiven Lehm Böden kann es durch die Bodenbearbeitung für die Zwischenfrucht sogar zu einem Humusabbau von -20 kg Humus-C/ha kommen. Die Zufuhr von leicht abbaubarer organischer Substanz in Form von Gründüngung kann besonders bei höheren Durchschnittstemperaturen sowie auf tätigen Böden zu einer deutlichen Umsatzstimulierung führen. Wahrscheinlich über Priming-Effekte können hierdurch sogar die Humusvorräte des Bodens angegriffen werden (Kolbe, 2013). Außerdem gelangt bei Begrünungen oft nicht der gesamte ursprünglich in der Biomasse vorhandene Kohlenstoff in den Boden. Bei überwinternden Begrünungen können fast 50 % des Kohlenstoffs als gasförmige Verluste in die Atmosphäre verloren gehen (Badawi et al., 2011). Die oberirdische Biomasse wird bei der Methode STAND separat angerechnet und bringt bei Mengen zwischen 10 und 60 t FM ha⁻¹ zwischen 20 und 60 kg Humus-C/ha. Auch hier wird der humusbildende Effekt der oberirdischen Biomasse also geringer bewertet als jener der Wurzeln und der Bodenruhe.

15.3.2.2 Vergleich der Auswirkung einer Zwischenfrucht zur Einarbeitung am Feld mit einer Zwischenfrucht zur Biogasnutzung auf die Humusreproduktion

Die Wirkung von ZF zur Gründüngung im Vergleich mit der Wirkung einer ZF, die für die Biogasproduktion geerntet wird, wobei die äquivalente Menge an Biogasgülle wieder auf die Flächen ausgebracht wird, auf die Humusreproduktion wurde anhand einer 2,5 t TS ZF-Biomasse durchgerechnet.

Die äquivalente Biogasgüllemenge, das heißt, die aus den ZF bei Biogasnutzung entstehende Menge wurde nach Reinhold (2005) berechnet. Die Humusreproduktionsfaktoren für ZF-Biomasse und Biogasgülle stammen aus Kolbe (2007 und 2013).

Die Humusreproduktionskoeffizienten für organische Dünger werden in den Humusbilanzierungsmethoden normalerweise aus langjährigen Dauerefeldversuchen abgeleitet. Der Methode STAND beispielsweise liegen Daten aus 39 Dauerversuchen mit insgesamt 244 ausgewerteten Versuchsvarianten zugrunde. Für den relativ neuen organischen Dünger Biogasgülle aus pflanzlichen Rohstoffen existieren solche Dauerversuchs-Daten noch nicht. Die Untersuchungen von Nielsen et al. (2013a, 2013b) und Krieger et al. (2013) zeigen, dass die Humusreproduktionsleistung von Biogasgülle aus NAWAROs höher zu bewerten ist als die von Rindergülle. Der im Inkubationsversuch binnen 100 Tagen mineralisierte Anteil des organischen Kohlenstoffs von Biogasgülle betrug nur 20-50 % des Vergleichssubstrats Rindergülle. Die chemischen Untersuchungen der Biogasgülle zeigten deutlich geringere

Anteile von leicht abbaubarer Zellulose und Hemizellulose, und höhere Anteile an schwer abbaubarem Lignin als in frischem Stallmist und in Rindergülle. Eigene Analysen der in den Versuchen Rohrau und Schönabrunn eingesetzten Biogasgülle ergaben sogar noch höhere Lignin-Anteile (Erhart und Hartl, 2012). Kolbe (2013) leitet aus den bislang vorliegenden Daten einen Humusreproduktionsfaktor von 7,6 kg Humus-C pro Tonne Biogasgülle-Frischmasse (bei 5,4 % TS-Gehalt) ab.

Es wird also eine etwas höhere Humusreproduktion erzielt, wenn die ZF-Biomasse zuerst den Biogasprozess durchläuft und in Form von Biogasgülle auf den Acker zurückkommt. Für die Umlegung des Ergebnisses auf ganze Fruchtfolgen ist zu beachten, dass die Humusreproduktionsleistung organischer Materialien mit zunehmender Menge abnimmt. ZF-Biomasse hat z. B. in Mengen unter 10 t FM/ha/J (im Durchschnitt der Fruchtfolge) einen Humusreproduktionswert von 5,5 kg Humus-C/t FM, in Mengen über 20 t FM/ha/J aber nur mehr einen Humusreproduktionswert von 1 kg Humus-C/t FM. Bei Gülle ist das Absinken der Humuswirksamkeit mit zunehmender Menge nicht so stark. Hier wird bei Mengen von über 25 t/ha/J (im Durchschnitt der Fruchtfolge) eine um rund 10 % geringere Humuswirksamkeit angesetzt.

Vergleich: Zwischenfrucht-Biomasse eingearbeitet gegenüber Biomassenutzung und Biogasgülle-Düngung



Abb. 48 Vergleich Einarbeitung Zwischenfruchtbiomasse versus Biogasnutzung und Biogasgülle rückführung

15.3.2.3 Humusbilanzen von Muster-Feldfrüchten

Es wurden für die Humusbilanzierung Winterweizen und Mais, die gleichen Muster-Feldfrüchte wie bei den Berechnungen für den Sustainable Process Index (SPI) verwendet, und auch dieselben Annahmen betreffend Erträge und Biomasse-mengen. Die Ergebnisse der

Humusbilanzen der vereinfachten Musterfruchtfolgen flossen wiederum in die SPI-Berechnung ein. Um die Auswirkungen der ZF-Nutzung auf den Humusgehalt zu quantifizieren, erfolgte die Berechnung jeweils für die folgenden Varianten:

Tab. 14 Varianten für die Berechnung der Humusbilanzen der Muster-Feldfrüchte

Var. 0	Schwarzbrache
Var. 1	ZF wird eingearbeitet. ZF-Biomasse: 2,5 t/ha TM
Var. 2a	ZF wird für Biogaserzeugung beerntet und die aliquote Menge an Biogasgülle rückgeführt. ZF-Biomasse: 2,5 t/ha TM Biogasgüllemenge: 10 t/ha mit 8 % TM-Gehalt
Var. 2b	ZF wird für Biogaserzeugung beerntet und die aliquote Menge an Biogasgülle rückgeführt. ZF-Biomasse unter sehr guten Bedingungen: 4,5 t/ha TM Biogasgüllemenge: 18 t/ha mit 8 % TM-Gehalt
Var. 2c	ZF wird für Biogaserzeugung beerntet und die aliquote Menge an Biogasgülle rückgeführt. ZF-Biomasse bei optimiertem System und optimalen Bedingungen: 6 t/ha TM Biogasgüllemenge: 24 t/ha mit 8 % TM-Gehalt

Das Stroh der Hauptfrucht verbleibt immer am Feld.

Es wurden drei verschiedene Boden- bzw. Standortvarianten berücksichtigt:

Tab. 15 Boden- bzw. Standortvarianten für die Humusbilanzberechnung der Muster-Feldfrüchte

Leichter Boden	Sand bis lehmiger Sand, Tongehalt > 13 %, Jahresdurchschnittstemperatur > 8,5 °C (Standortgruppe 3)
Mittlerer Boden	sandiger Lehm, Tongehalt 14-27 %, Jahresdurchschnittstemperatur > 8,5 °C (Standortgruppe 5)
Schwerer Boden	Tongehalt > 28 % (Standortgruppe 2)

S-ZF nach Weizen

Annahme: Nach Weizen mit einem Ertrag von 6 t/ha wird in V1 und V2 eine S-ZF angebaut.

Tab. 16 Muster-Feldfrucht Weizen. Humusbilanzsalden (kg Humus-C/ha/J)

Variante	Leichter Boden	Mittlerer Boden	Schwerer Boden
Var. 0	47	-3	147
Var. 1	202	102	402
Var. 2a	275	175	475
Var. 2b	336	236	536
Var. 2c	389	289	589

Aufgrund des eingearbeiteten Strohs weist schon V0 mit Schwarzbrache eine ausgeglichene Humusbilanz auf. Mit der zusätzlichen Zufuhr organischer Substanz steigen in den anderen Varianten die Humusbilanzsalden deutlich an. Schwere und leichte Böden weisen höhere Humusbilanzsalden auf als mittlere Böden. V2a, bei der die ZF für Biogasnutzung beerntet und Biogasgülle rückgeführt wird, erreicht einen positiveren Humusbilanzsaldo als V1 mit gleich hoher ZF-Biomasse, die am Feld eingearbeitet wird.

W-ZF vor Mais

Annahmen: In allen Varianten wird Silomais (15 t/ha TM) an Rinder verfüttert (1,6 GVE/ha) und eine entsprechende Menge an Rindergülle (40 m³/ha) auf dem Feld ausgebracht. Nach dem Mais wird in V1 und V2 eine W-ZF (Grünschnitttroggen) angebaut.

Tab. 17 Muster-Feldfrucht Mais. Humusbilanzsalden (kg Humus-C/ha/J)

Variante	Leichter Boden	Mittlerer Boden	Schwerer Boden
Var. 0	-186	-236	-86
Var. 1	64	-36	264
Var. 2a	96	-4	296
Var. 2b	165	65	365
Var. 2c	226	126	426

Beim ‚Humuszehrer‘ Mais weist die V0 mit Schwarzbrache deutlich negative Humusbilanzsalden auf. Mit der zusätzlichen Zufuhr organischer Substanz wird der Humusbilanzsaldo ausgeglichen bzw. in den Varianten mit höheren ZF-Biomassemenngen deutlich positiv. Schwere und leichte Böden haben höhere Humusbilanzsalden als mittlere Böden. V2a, bei der die ZF für Biogasnutzung beerntet und Biogasgülle rückgeführt wird, hat einen etwas positiveren Humusbilanzsaldo als die Variante 1 mit am Feld eingearbeiteter ZF-Biomasse.

15.3.3 Humusbilanzen der Versuchsstandorte im Projekt

Versuch in Hasendorf (Stmk.)

Tab. 18 Fruchtfolge Versuch Hasendorf

Jahr	Feldfrucht
2006	Ölkürbis
2007	Silomais
2008	Silomais
2009	Ölkürbis (+ WZf Grünschnittroggen in Var. 1,2,3)
2010	Silomais (+ WZf Grünschnittroggen in Var. 1,2,3)
2011	Ölkürbis (+ WZf Grünschnittroggen in Var. 1,2,3)
2012	Silomais (+ WZf Grünschnittroggen in Var. 1,2,3)
2013	Soja (+ WZf Grünschnittroggen in Var. 1,2,3)
2014	Silomais

WZf = Winterzwischenfrucht

Tab. 19 Organische Düngung Versuch Hasendorf

Jahr	Var. 0	Var. 1	Var. 2	Var. 3
2006	20 m3/ha Schweinegülle	20 m3/ha Schweinegülle	20 m3/ha Schweinegülle	20 m3/ha Schweinegülle
2007	20 m3/ha Schweinegülle	20 m3/ha Schweinegülle	20 m3/ha Schweinegülle	20 m3/ha Schweinegülle
2008	22 m3/ha Biogasgülle	22 m3/ha Biogasgülle	22 m3/ha Biogasgülle	22 m3/ha Biogasgülle
2009				
2010		22 m3/ha Biogasgülle	22 m3/ha Biogasgülle	22 m3/ha Biogasgülle
2011		22 m3/ha Biogasgülle		25 m3/ha Biogasgülle
2012	22 m3/ha Biogasgülle	25+22 m3/ha Biogasgülle	25 m3/ha Biogasgülle	25 m3/ha Biogasgülle
2013		22 m3/ha Biogasgülle	22 m3/ha Biogasgülle	22 m3/ha Biogasgülle
2014				

Die Bodenart am Versuch in Hasendorf ist ein sandiger Lehm. Mit einem Tongehalt von etwa 16-21% wird er in die Standortgruppe 5 zugeordnet. Der Humusgehalt am Versuchsfeld Hasendorf betrug zu Projektbeginn 2,8 % (Durchschnitt aller Varianten im Feb. 2011; Messungen von wpa bzw. AGES).

Bei V1 verbleiben die ZF am Feld. Bei V2 und V3 wurden die ZF geerntet. Alle Varianten erhielten zusätzlich mineralische Düngung in unterschiedlichen Mengen.

Tab. 20 Versuch Hasendorf (Stmk). Humusbilanzsalden (kg Humus-C/ha/J)

Variante	Humusbilanzsaldo (kg Humus-C/ha/J)
Var. 0	-512
Var. 1	-363
Var. 2	-434
Var. 3	-429

Durch den Anbau von 8 stark humuszehrenden Früchten (fünfmal Silomais und dreimal Kürbis) und nur 1 mal Soja als humusmehrende Fruchtart in der Fruchtfolge ergibt sich ohne Zwischenfrüchte bei der Variante Stmk 0 ein Humusabbau von etwa - 545 kg Humus-Kohlenstoff je Hektar und Jahr, da der Versuchsstandort auf einem relativ umsatzaktiven Boden (Standortgruppe 5) liegt. Durch die Zufuhr von organischen Düngern in Form von Schweine- und Biogasgülle mit 35 kg C/ha/J verringert sich das Minus leicht, auf ein Humussaldo von – 510 kg Humus-Kohlenstoff je Hektar und Jahr.

In den Varianten Stmk 1, 2 und 3 wurde fünfmal die ZF Winterroggen angebaut. Die Fruchtfolge mit ZF ergibt im Saldo einen Humusabbau von – 480 kg Humus-Kohlenstoff je Hektar und Jahr.

Bei der Variante Stmk 1 verbleibt die ZF von durchschnittlich fast 14 t Frischmasse pro Hektar und Jahr am Feld. Aufgrund der großen Menge an ZF, die am Feld verbleiben, liegt die Humuswirksamkeit bei nur etwa 50 kg Humus-Kohlenstoff je Hektar und Jahr. Die Zufuhr von Biogasgülle bewirkt ein Plus von etwa 50 kg C/ha/J, die Schweinegülle von etwa 10 kg Humus-Kohlenstoff je Hektar und Jahr. Der Humussaldo in Var. Stmk 1 liegt bei etwa – 363 kg Humus-Kohlenstoff je Hektar und Jahr. Bei den Varianten Stmk 2 und 3 wird die Zwischenfrucht vom Feld abgeführt. Die Humuszufuhr liegt bei 46 bis 52 kg C/ha/J, was größtenteils auf die Düngung mit Biogasgülle zurückzuführen ist. Der Humussaldo liegt dadurch bei etwa – 430 kg Humus- Kohlenstoff je Hektar und Jahr.

Versuch Güssing (Bgld.)

Die Bodenart des Versuchsfeldes in Güssing ist ein lehmiger Schluff, der der Standortgruppe 5 zugeordnet wird. Der Humusgehalt am Versuchsfeld Güssing betrug 2,0 % (sowohl in Var. 0, als auch im Durchschnitt aller Varianten im Feb. 2011; Messungen von wpa bzw. AGES).

Tab. 21 Fruchtfolge Versuch Güssing

Jahr	Feldfrucht
2007	Winterweizen
2008	Hafer
2009	Winterraps + S-Zf
2010	Winterweizen (+ W-Zf in V1-3)
2011	Silomais (+ W-Zf in V1-3)
2012	Soja (+ W-Zf in V1-3)
2013	Silomais + S-Zf (+ W-Zf in V1-3)
2014	Silomais

Im Jahr 2013 wurde der Silomais trockenheitsbedingt Anfang August vorzeitig notreif und geerntet. Anschließend wurde eine abfrostdende ZF (Biogasmix) angebaut und in allen Varianten geerntet, als Ersatz bzw. Ergänzung für die geringe Mais-Biomasse.

Bei der Variante 0 wurde neben der S-ZF 2013 auch der aufgelaufene Ausfallraps 2009 mit einer Biomasse von 0,72 t/ha Trockenmasse als S-ZF, die am Feld verblieben ist, bewertet. Bei der Variante Güssing 1 sind alle ZF mit Ausnahme der S-ZF 2013 am Feld verblieben. Bei den Varianten Güssing 2 und 3 wurden alle ZF geerntet.

Tab. 22 Organische Düngung Versuch Güssing

Jahr	Var. 0	Var. 1	Var. 2	Var. 3
2006				
2007				
2008				
2009	15 m3/ha Biogasgülle	15 m3/ha Biogasgülle	15 m3/ha Biogasgülle	15 m3/ha Biogasgülle
2010	23 m3/ha Biogasgülle	23 m3/ha Biogasgülle	23 m3/ha Biogasgülle	23 m3/ha Biogasgülle
2011			15 m3/ha Biogasgülle	15 m3/ha Biogasgülle
2012			25 m3/ha Biogasgülle	25 m3/ha Biogasgülle
2013	25 m3/ha Biogasgülle	25 m3/ha Biogasgülle	30+25 m3/ha Biogasgülle	30+25 m3/ha Biogasgülle
2014	15+25 m3/ha Biogasgülle	15+25 m3/ha Biogasgülle	15+25 m3/ha Biogasgülle	15+25 m3/ha Biogasgülle

Alle Varianten erhielten bis 2011 zusätzlich mineralische Düngung in unterschiedlichen Mengen.

Tab. 23 Versuch Güssing (Bgld). Humusbilanzsalden (kg Humus-C/ha/J)

	Humusbilanzsaldo (kg Humus-C/ha/J)
Var. 0	-121
Var. 1	-36
Var. 2	10
Var. 3	10

In der Variante Güssing 0 mit zwei abfrostandenden ZF ergibt sich ein Humusabbau von -310 kg C/ha/J durch die Fruchtfolge. Hauptverantwortlich für den Abbau ist der dreimalige Silomais in der Fruchtfolge. Bei allen Varianten wurde das Getreidestroh vom Feld abgeführt; es verbleibt nur das Rapsstroh am Feld. Durch das Rapsstroh kommt es zu einer Humuszufuhr von knapp 80 kg C/ha/J.

Bei der Variante Güssing 0 erfolgt die Humuszufuhr neben dem Rapsstroh fast ausschließlich durch die Biogasgülle mit plus 840 kg Humus-Kohlenstoff je Hektar auf die Fruchtfolge gesamt, was ca. 100 kg Humus-C/ha/J ausmacht. In Summe ergibt die Humuszufuhr etwa 190 kg C/ha/J. Der Humussaldo liegt bei rund -120 kg Humus-C/ha/J. Bei der Variante Güssing 1 verbleibt die ZF am Feld mit ca. 30 t/ha/J Frischmasse, was eine Humuszufuhr von 30 kg C/ha/J zur Folge hat. Aufgrund der hohen Menge der ZF, die am Feld verbleibt, ist die Humuswirksamkeit relativ gering. Die Zufuhr der Biogasgülle ist gleich wie bei der Variante Güssing 0. Der Humussaldo liegt bei knapp -30 kg C/ha und Jahr. Bei den Varianten Güssing 2 und 3 wird die gesamte ZF vom Feld abgeführt. Die Düngung mit Biogasgülle bewirkt eine Zufuhr von 1450 kg Humus-C /ha auf die gesamte Fruchtfolge, was pro Jahr 180 kg Humus-C/ha/J entspricht. Gemeinsam mit dem Rapsstroh mit 80 kg C/ha/J liegt die Zufuhr bei 260 kg Humus-C/ha/J. Der Humusbedarf durch die Fruchtfolge liegt bei -250 kg C/ha/J. Der Humussaldo ist knapp ausgeglichen mit + 10 kg Humus-C/ha/J.

Versuch Thalheim:

Beim Versuch in Thalheim liegt die Bodenart lehmiger Schluff vor, der in die Standortgruppe 5 einzuordnen ist.

Tab. 24 Fruchtfolge Versuch Thalheim

Jahr	Feldfrucht
2007	Wintergerste + WZf
2008	Körnermais
2009	Wintergerste + SoZf
2010	Winterweizen (+ WZf in Var. 1, 2, 3)
2011	Körnermais (+ WZf in Var. 1, 2, 3)
2012	Soja (+ WZf in Var. 1, 2, 3)

In V0 gab es 2007/08 eine W-ZF. Der Aufwuchs nach Wintergerste erzielte eine TM von ca. 1 Tonne und wurde daher wie eine W-ZF bewertet. Bei V1 ist der Aufwuchs von 3 W-ZF sowie der der S-ZF am Feld verblieben. Im Vergleich dazu wurde bei den Varianten 2 und 3 nur die S-ZF 2009 beerntet. Bei den W-ZF 2010/11 und 2011/12 wurde die Begrünung als nicht erntewürdig erachtet. Die Biomasse ist in beiden Jahren am Feld verblieben. Die W-ZF 2012/13 wurde bei allen angebauten Varianten (1, 2, 3) beerntet.

Tab. 25 Organische Düngung Versuch Thalheim

Jahr	Var. 0	Var. 1	Var. 2	Var. 3
2006				
2007				
2008				
2009	10 m3/ha Biogasgülle	15 m3/ha Biogasgülle	15 m3/ha Biogasgülle	15 m3/ha Biogasgülle
2010		13,5 m3/ha Biogasgülle	13,5 m3/ha Biogasgülle	13,5 m3/ha Biogasgülle
2011				
2012				

Tab. 26 Versuch Thalheim (OÖ). Humusbilanzsalden (kg Humus-C/ha/J)

	Humusbilanzsaldo (kg Humus-C/ha/J)
Var. 0	35
Var. 1	137
Var. 2	129
Var. 3	123

In V0 ergibt sich durch die sechsgliedrige Fruchtfolge ein Humusabbau von -267 kg Humus-Kohlenstoff je Hektar und Jahr in der Standortgruppe 5. In V1, V2 und V3 ist der Humusabbau um 60 kg Humus-C/ha niedriger und liegt bei -1600 kg Humus C für die gesamte Fruchtfolge, entsprechend -207 kg Humus-C/ha und Jahr. Der geringere Humusabbau ergibt sich durch insgesamt 4 winterharte ZF in den Varianten 1, 2 und 3. Im Vergleich dazu gibt es in der Variante 0 jeweils nur eine winterharte (2007/08) und eine abfrostdende ZF (2009). Hauptverantwortlich für den Humusabbau ist 2 mal Körnermais in der Fruchtfolge, der als Hackfrucht einen hohen Humusbedarf aufweist. Im Vergleich zum Silomais wirkt sich das Maisstroh, das am Feld verbleibt, positiv aus. Die Humuszufuhr durch das Stroh von Mais und Getreide, das am Feld verbleibt ergibt bei allen Varianten je nach Strohmenge - die nicht stark schwankt-, ein Plus von etwa 270 kg Humus-C je ha und Jahr.

In V0 wirkt sich auch die oberirdische Biomasse der ZF, die am Feld verbleibt mit 23 kg Humus-C je ha und Jahr und eine Düngung mit Biogasgülle von 10 kg Humus-C je ha und

Jahr positiv auf die Fruchtfolge aus. In V0 macht die Humuszufuhr durch Stroh, ZF und Biogasgülle etwa 300 kg C/ha/J aus. Das führt zu einem positiven Humussaldo von 35 kg Humus-Kohlenstoff je Hektar und Jahr.

In V1 ergibt sich durch insgesamt 4 winterharte ZF und eine abfrostdende ZF, die mit einer Ausnahme alle am Feld verbleiben, eine Humuszufuhr von 55 kg Humus-C/ha. Insgesamt sind durchschnittlich fast 12 t/ha/J an Biomasse der ZF auf dem Feld verblieben, im Vergleich zu V0 mit etwa 4 t/ha/J. Deren Humuswirksamkeit ist aufgrund der deutlich höheren Biomasse aber geringer als im Fall von V0. Durch die Biogasgülle wurden 20 kg C/ha/J zugeführt. Durch die Zufuhr von Stroh, ZF und Biogasgülle ergibt sich ein Plus von etwa 345 kg C/ha/J. Die Fruchtfolge bewirkt einen Abbau von 207 kg C/ha/J. Daraus ergibt sich ein positiver Humussaldo von etwa 140 kg C/ha/J. Bei V2 und V3 wurde im Gegensatz zu V1 die abfrostdende ZF beerntet. Die etwas geringere Biomasse der ZF von 8,4 t/ha/J bei V2 und von 7,6 t/ha/J Frischmasse bei V3, die in beiden Varianten am Feld verbleibt, wirkt sich aufgrund ihrer größeren Humuswirksamkeit mit über 40 kg C/ha/J aus.

Bei gleicher Zufuhr von Biogasgülle in Variante 2 und 3 von jeweils 20 kg C/ha/J ergibt sich ein Humussaldo von etwa 130 kg C/ha/J bzw. von 123 kg C/ha/J in V2 und V3.

Versuch Rohrau (NÖ):

Beim Boden in Rohrau handelt es sich um eine Feuchtschwarzerde, die der Standortgruppe 1 zugeordnet wird. Sie zeichnet sich durch einen geringen Humusabbau und einen starken Trend zur Humusakkumulation aus. Der Humusgehalt am Versuchsfeld Rohrau betrug 3,7 % (Durchschnitt aller Varianten im Feb. 2011; Messungen von wpa bzw. AGES).

Tab. 27 Fruchtfolge Versuch Rohrau

Jahr	Feldfrucht
2010	Körnermais
2011	Winterweizen (+ SoZf in Var. 1, 2)
2012	Sojabohne (+ WZf in Var. 1, 2)
2013	Körnermais (+ WZf in Var. 1, 2)
2014	Sojabohne

Aufgrund des geringen Humusabbaus auf dem Schwarzerdestandort kommt es schon durch die Fruchtfolge zu einem Humusaufbau von 170 kg Humus-C/ha/Jahr. Dazu kommt die Zufuhr von organischem Material in Form von Stroh, sodaß sich ohne Zwischenfrüchte und ohne Biogasgülle in Var. 0 ein positiver Humussaldo von + 310 kg Humus-C/ha/Jahr ergibt. Auf diesem Standort wäre also ohne weiteres eine humuszehrendere Fruchtfolge möglich.

Tab. 28 Organische Düngung Versuch Rohrau

Jahr	Var. 0	Var. 1	Var. 2
2010			
2011			35+23 m3/ha Biogasgülle
2012			
2013			28 m3/ha Biogasgülle
2014			26 m3/ha Biogasgülle

Die Bodenart am Versuch in Hasendorf ist ein sandiger Lehm. Mit einem Tongehalt von etwa 16-21% wird er in die Standortgruppe 5 zugeordnet. Der Humusgehalt am Versuchsfeld Hasendorf betrug zu Projektbeginn 2,8 % (Durchschnitt aller Varianten im Feb. 2011; Messungen von wpa bzw. AGES).

Tab. 29 Versuch Rohrau (NÖ). Humusbilanzsalden (kg Humus-C/ha/J)

Variante	Humusbilanzsaldo (kg Humus-C/ha/J)
Var. 0	310
Var. 1	569
Var. 2	624

Versuch Schönabrunn (NÖ):

Beim Boden am Versuch Rohrau Schönabrunn es sich um einen Paratschernosem, der der Standortgruppe 5 zugeordnet wird. Der Humusgehalt am Versuchsfeld Rohrau betrug 1,9 % (Durchschnitt aller Varianten im Feb. 2011; Messungen von wpa bzw. AGES). Der Versuch Schönabrunn unterscheidet sich nur in Bodentyp und Bodenart des Standorts vom Versuch Rohrau. Bewirtschaftung, Fruchtfolge und Düngung waren praktisch gleich. Auf diesem Standort bedingt dieselbe Fruchtfolge und Strohzufuhr (allerdings mit geringerer Strohmenge aufgrund der geringeren Wüchsigkeit) wie im Versuch Rohrau einen viel geringeren Humussaldo: -83 kg Humus-C/ha/J in Var. 0. In Var. 1 mit ZF-Anbau und Einarbeitung steigt der Humussaldo auf +5 kg Humus-C/ha/Jahr und in Var. 2, mit ZF-Anbau zur Biogaserzeugung und mit Biogasgülledüngung auf + 112 kg Humus-C/ha/Jahr.

Tab. 30 Fruchtfolge Versuch Schönabrunn

Jahr	Feldfrucht
2010	Körnermais
2011	Winterweizen (+ SoZf in Var. 1, 2)
2012	Sojabohne (+ WZf in Var. 1, 2)
2013	Körnermais (+ WZf in Var. 1, 2)
2014	Sojabohne

Tab. 31 Organische Düngung Versuch Schönabrunn

Jahr	Var. 0	Var. 1	Var. 2
2010			
2011			40+23 m3/ha Biogasgülle
2012			
2013			28 m3/ha Biogasgülle
2014			26 m3/ha Biogasgülle

Tab. 32 Versuch Schönabrunn (NÖ). Humusbilanzsalden (kg Humus-C/ha/J)

Variante	Humusbilanzsaldo (kg Humus-C/ha/J)
Var. 0	-83
Var. 1	5
Var. 2	112

Mais-Fruchtfolge (konventionelle Bewirtschaftung)

Durch die Hackfrüchte Mais und Kürbis hat die Variante 0 mit Schwarzbrache stark negative Humusbilanzsalden. Mit der zusätzlichen Zufuhr organischer Substanz wird der Humusbilanzsaldo ausgeglichen bzw. in den Varianten mit höheren ZF-Biomasse-mengen deutlich positiv. Auf mittleren Böden wird in der Variante 1 mit ZF, die am Feld eingearbeitet wird, jedoch noch kein ausgeglichener Humusbilanzsaldo erreicht. Die Variante 2a, bei der die ZF

für Biogasnutzung beerntet und Biogasgülle rückgeführt wird, erreicht einen etwas positiveren Humusbilanzsaldo als die Variante 1.

Tab. 33 Mais-Fruchtfolge

Jahr	Feldfrucht
1	Silomais + WZf
2	Silomais + WZf
3	Silomais + WZf
4	Kürbis + WZf

Annahmen: Der Silomais (15 t/ha TM) wird an Rinder verfüttert (1,6 GVE/ha), und die entsprechende Menge Rindergülle (40 m³/ha) kommt in allen Varianten auf das Feld zurück. Nach jeder Hauptfrucht wird die Winterzwischenfrucht Grünschnittroggen angebaut. Da mit Grünschnittroggen regelmäßig höhere Biomasseerträge erzielt werden, wurden hier auch die Varianten 2b und 2c (mit Zwischenfruchtbiosmassen von 4,5 bzw. 6 t/ha TM) berechnet.

Tab. 34 Mais-Fruchtfolge. Humusbilanzsalden (kg Humus-C/ha/J)

Variante	Leichter Boden	Mittlerer Boden	Schwerer Boden
Var. 0	-236	-286	-136
Var. 1	14	-86	214
Var. 2a	46	-54	246
Var. 2b	115	15	315
Var. 2c	176	76	376

15.3.4 Conclusio Humusgehalt und Bodenfruchtbarkeit

Die Humusbilanzen zeigen, dass eine etwas höhere Humusreproduktion erzielt wird, wenn die ZF-Biomasse zuerst den Biogasprozess und dann in Form von Biogasgülle auf den Acker zurückkommt, als wenn sie als Gründüngung direkt eingearbeitet wird. Durch den Abbau der leicht abbaubaren Anteile der ZF-Biomasse in der Biogasanlage hat die entstehende Biogasgülle einen etwas höheren Humusreproduktionswert als die ursprüngliche ZF-Biomasse. Außerdem gelangt bei Begrünungen oft nicht der gesamte in der oberirdischen Biomasse fixierte Kohlenstoff in den Boden. Bei überwinterten Begrünungen können fast 50 % davon als gasförmige Verluste in die Atmosphäre verloren gehen.

Die positiven Wirkungen der Wurzeln, der Wurzelauausscheidungen und der Bodenruhe für den Bodenhumus bleiben auch bei ZF zur Biogasnutzung bestehen, wobei ZF-Bestände, die zur Biogaserzeugung angebaut werden, oft deutlich größere Biomassen und damit auch Wurzelmassen produzieren als Bestände, die „nur“ zur Gründüngung angebaut werden. Die Humuswirkung von ZF hängt jedoch stark vom jeweiligen Boden und Klima ab. Auf Böden mit relativ weiten C/N-Verhältnissen und geringer bis durchschnittlicher Umsetzungsaktivität führt Gründüngung zu einer mäßigen bis deutlichen Verbesserung der Humusversorgung. Auf sehr umsetzungsaktiven Lehmböden hingegen kann es durch die Bodenbearbeitung für die ZF und die Stimulierung des Humusumsatzes durch die Zufuhr leicht abbaubarer organischer Substanz sogar zu einem leichten Humusabbau kommen.

Die Humuswirksamkeit der ZF-Biomasse wird – wie bei allen organischen Düngern – mit zunehmender Menge geringer, weil der Abbau umso stärker angeregt wird, je mehr Biomasse dem Boden zugeführt wird.

Durch diese Faktoren ergeben sich je nach Standort, Fruchtfolge und Biomassemenge etwa gleiche bis deutlich positivere Humusbilanzsalden, wenn die ZF-Biomasse für die Biogas-erzeugung verwendet wird und erst die entsprechende Biogasgülle wieder aufs Feld kommt.

15.3.5 Literatur Humus und Bodenfruchtbarkeit

- Assinger T. (2013): Einfluss unterschiedlicher Fruchtarten auf Biomasseertrag und Wurzelbildung als Begrünungsmaßnahme im semiariden Produktionsgebiet. Masterarbeit Univ. f. Bodenkultur, Wien.
- Badawi A., Hartl W., Erhart E., Albert R., Wanek W., Watzka M. (2011): Verluste der oberirdischen Biomasse von abfrostdenden Begrünungspflanzen durch Ausgasung vor der Einarbeitung in den Boden. pp. 235-237 in: LFL Raumberg-Gumpenstein (Hrsg.): Lysimeter in der Klimafolgenforschung und Wasserwirtschaft. Bericht der 14. Gumpensteiner Lysimetertagung. Verlag LFL Raumberg-Gumpenstein.
- Erhart E., Hartl W. (2012): Endbericht Energiefrüchte am Acker – Feldversuch, Teilbereich Auswirkungen auf die Bodenfruchtbarkeit.
- Hartl W., Neuner E.: Begrünungsversuche 2004-2014. Unveröffentlichte Daten.
- Kastelliz A., Bodner G., Ofner K., Liebhard P. (2013): Messung des Abbaues organischer Substanz im Boden mit Litterbags. In: Arbeitsgemeinschaft für Lebensmittel-, Veterinär- und Agrarwesen (ALVA): Pflanzenschutz als Beitrag zur Ernährungssicherung, 68. ALVA-Tagung, Klosterneuburg, 23. - 24. Mai 2013, 74-76
- Kolbe H. (2007): Einfache Methode zur standortangepassten Humusbilanzierung von Ackerland unterschiedlicher Anbauintensität. In: Zikeli S., Claupein W., Dabbert S., Kaufmann B., Müller T., Valle Zárate A. (Hrsg.): Zwischen Tradition und Globalisierung. Beiträge zur 9. Wissenschaftstagung Ökologischer Landbau. pp. 5-8. Verlag Dr. Köster, Berlin.
- Kolbe H. (2012): Zusammenführende Untersuchungen zur Genauigkeit und Anwendung von Methoden der Humusbilanzierung im konventionellen und ökologischen Landbau. Schriftenreihe des LfULG, Heft 19/2012, 4-82.
- Kolbe H. (2013): Standortangepasste Humusversorgung im intensiven Maisanbau möglich. Biogas Journal 6/2013, 52-62.
- Kolbe H. (ed.): Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie, Dresden (Hrsg.) (2013): Anwendungsbeispiele zur standortangepassten Humusbilanzierung im ökologischen Landbau. Informationen für Praxis, Beratung und Schulung. Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie (LfULG), D-Dresden.
- Krieger J., Fischer N., Nielsen K., Sensel K., Ellmer F. (2013): Einfluss verschiedener Gärprodukte aus Biogasanlagen auf die Kohlenstoffdynamik des Bodens, Mitt. Ges. Pflanzenbauwiss. 25: 140–141.
- Kuzyakov Y., Domanski G. (2000): Carbon input by plants into the soil. Review. J. Plant Nutr. Soil Sci. 163, 421-431.
- Nielsen K., Sensel-Gunke K., Krieger J., Ellmer F. (2013a): Gärprodukte – besser für den Humusaufbau als gedacht. Biogas Journal 6/2013, 48-51.
- Nielsen K., Sensel K., Bermejo G., Krück S., Ellmer F. (2013b): Humusreproduktion durch Gärreste. LOP - Landwirtschaft ohne Pflug 11/2013, 28-32.
- Rasse D., Rumpel C., Dignac M.-F. (2005): Is soil carbon mostly root carbon? Mechanisms for a specific stabilisation. Plant and Soil 269, 341-356.
- Reinhold G. (2005): Masse- und Trockensubstanzbilanz in landwirtschaftlichen Biogasanlagen. Thüringer LfL.
- Rinnofner T., Friedel J.K., de Kruiff R., Pietsch G., Freyer B. (2008): Effect of catch crops on N dynamics and following crops in organic farming. Agron. Sustain. Dev. 28, 551-558.
- Sauerbeck D., Johnen B. (1976): Der Umsatz von Pflanzenwurzeln im Laufe der Vegetationsperiode und dessen Beitrag zur „Bodenatmung“. J. Plant Nutr. Soil Sci. 139, 315-328.
- VDLUFA (Hrsg., 2014): Standpunkt Humusbilanzierung. Eine Methode zur Analyse und Bewertung der Humusversorgung von Ackerland. VDLUFA-Verlag, Speyer.

15.4 Bewertung der Effekte auf Wasserhaushalt sowie Klima-, Erosions- und Wasserschutz

15.4.1 Untersuchungsergebnisse N_{min} -Gehalt

Auf insgesamt 5 Versuchsstandorten (Güssing, Hasendorf, Ottstorf, Rohrau, Schönabrunn) wurden während der Vegetationszeit der W-ZF 2-3 mal Bodenproben in den Tiefenstufen 0-30cm, 30-60cm, und 60-90cm entnommen und auf ihren N_{min} Gehalt untersucht. In der anschließenden Tabelle werden die Mittelwerte der Summe entlang des gesamten Bodenprofils (0-90cm) aufgelistet und anschließend grafisch dargestellt. In Güssing war es

im Herbst 2012 aufgrund der starken Vernässungen auf der Versuchsfläche nicht möglich Bodenproben zu entnehmen. Da der Versuch in Ottstorf abgebrochen wurde, fand die letzte Probenahme auf dieser Fläche im März 2012 statt.

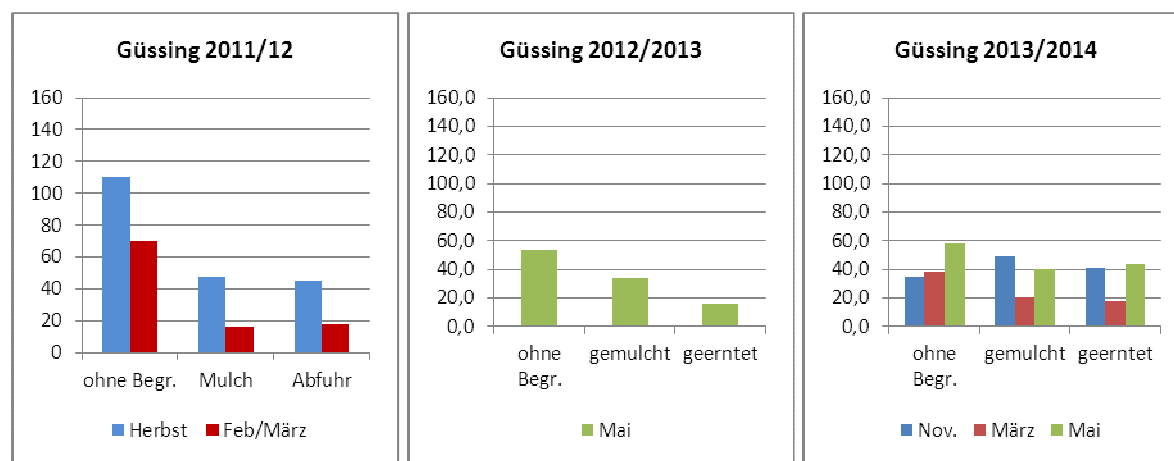


Abb. 49 N_{min_gesamt} Mittelwerte der Varianten in Güssing von 2011 bis 2014 [kg/ha]

Tab. 35 N_{min_gesamt} Mittelwerte der Varianten [kg/ha]

Jahr	Monat	Art	Mittelwert von N_{min} kg N/ha		
			V0 ohne ZF	V1 ZF gemulcht	V2 ZF beerntet
2011	Nov.	Rohrau	114,9	34,6	41,8
2011	Nov.	Schönabrunn	52,5	21,9	20,6
2011	Nov.	Güssing	110	47,3	45,1
2011	Nov.	Hasendorf	84,7	69,9	65,5
2011	Nov.	Ottstorf/Thalheim	36,3	39,4	33
2012	März	Rohrau	113,8	32,6	29,6
2012	März	Schönabrunn	58,7	28,8	45,8
2012	März	Güssing	70,2	16,4	17,7
2012	März	Hasendorf	82,8	67,4	59,8
2012	März	Ottstorf/Thalheim	44,2	45,1	42
2012	Mai	Rohrau	144,8	60,8	74,6
2012	Mai	Schönabrunn	109,2	107,9	79,9
2012	Mai	Hasendorf	108,4	139,4	18,9
2012	Nov.	Rohrau	80,4	67,6	101,3
2012	Nov.	Schönabrunn	57,8	58,3	70,1
2012	Nov.	Hasendorf	66,1	53,7	57,6
2013	März	Rohrau	55,1	39,7	46,2
2013	März	Schönabrunn	40,2	24,9	30,3
2013	März	Hasendorf	28,3	18,5	19,5
2013	Mai	Rohrau	99,7	67,3	30,8
2013	Mai	Schönabrunn	59,6	48,1	23,2
2013	Mai	Güssing	53,6	33,5	16,3
2013	Mai	Hasendorf	42,3	35,8	26,7
2013	Nov.	Rohrau	29,8	30,3	41,8
2013	Nov.	Schönabrunn	36,6	36,1	35,8
2013	Nov.	Güssing	34,3	49,2	41,3
2013	Nov.	Hasendorf	40,8	40,6	43,7
2014	März	Rohrau	33,4	34,3	48,7
2014	März	Schönabrunn	38,6	31,1	34,1
2014	März	Güssing	38,3	20,6	17,5
2014	März	Hasendorf	28,4	17,1	17,6
2014	Mai	Güssing	58,2	39,8	43,4
2014	Mai	Hasendorf	44,4	33,6	34,3

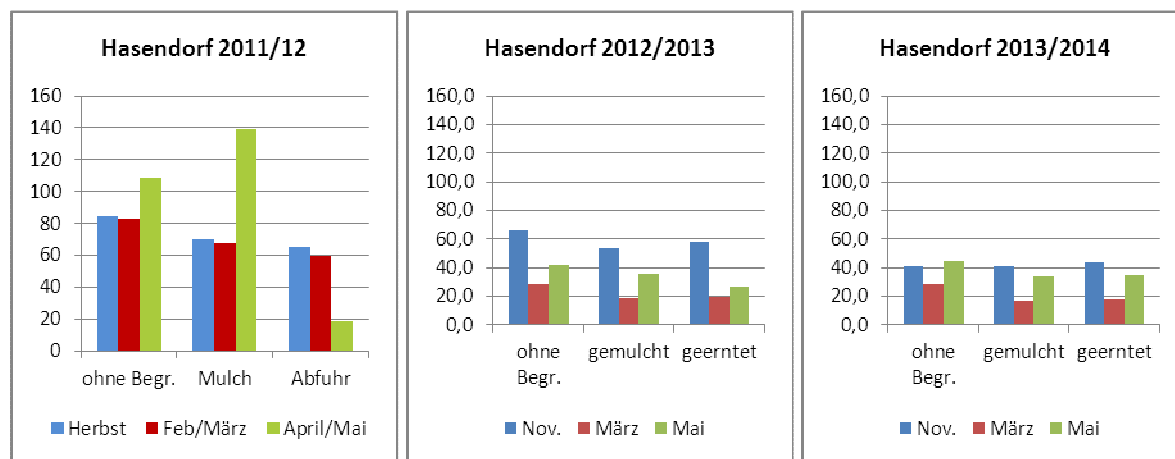


Abb. 50 N_{min_gesamt} Mittelwerte der Varianten in Hasendorf bei Leibnitz von 2011 bis 2014 [kg/ha]

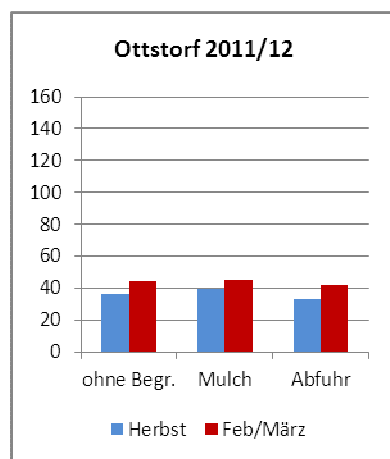


Abb. 51 N_{min_gesamt} Mittelwerte der Varianten in Ottstorf bei Thalheim/Wels von 2011 bis 2012 [kg/ha]

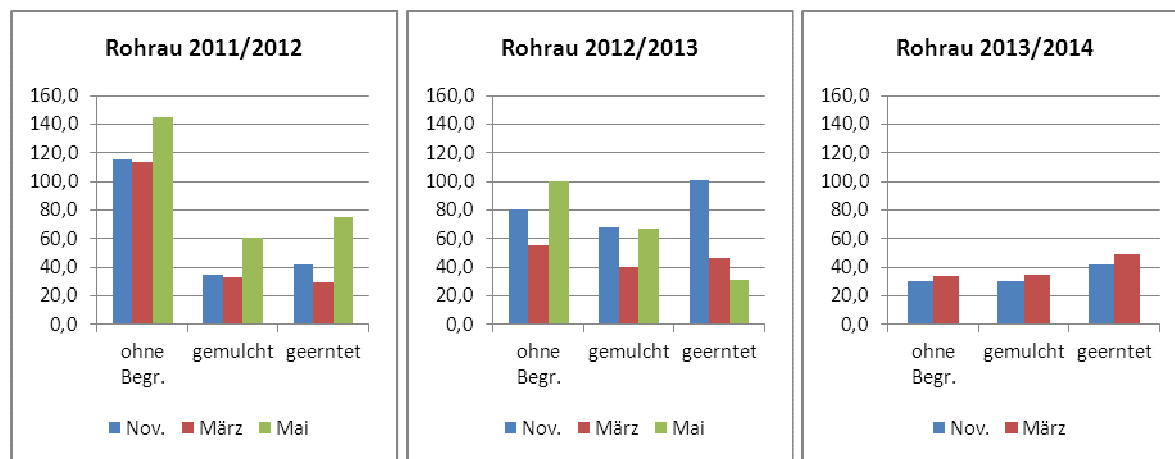


Abb. 52 N_{min_gesamt} Mittelwerte der Varianten in Rohrau bei Bruck/Leitha von 2011 bis 2014 [kg/ha]

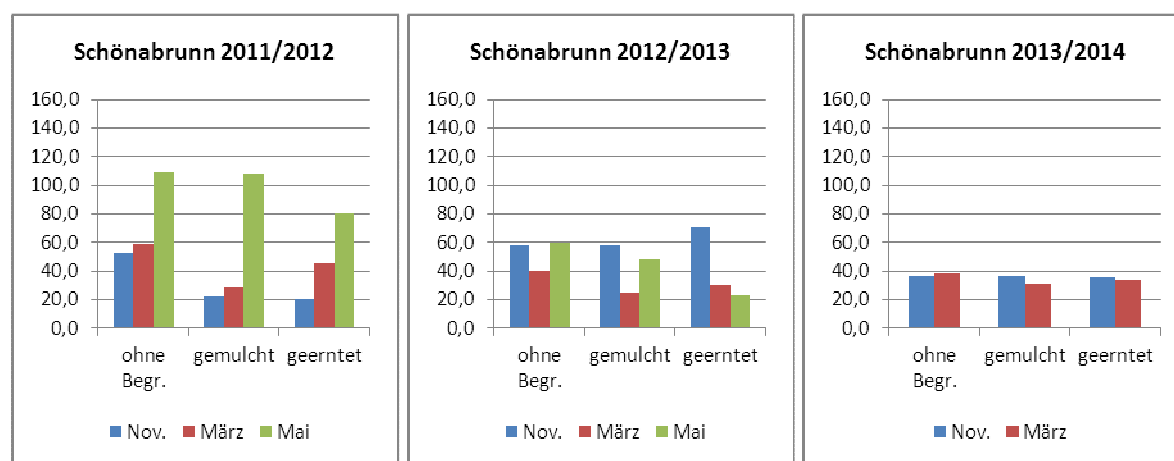


Abb. 53 $N_{\min_gesamt}$ Mittelwerte der Varianten in Schönabrunn bei Bruck/Leitha von 2011 bis 2014 [kg/ha]

Die Untersuchungsergebnisse zeigen, dass der $N_{\min}$ Gehalt durchwegs auf allen Standorten unter einer Schwarzbrache höher ist als unter ZF. Erfolgt ein Abernten der ZF ist besonders den Untersuchungen nach der Ernte bzw. dem Mulchen im Mai erkennbar, dass durch das Abernten der N-Gehalt im Boden geringer ist. In der Saison 2011/2012 in Hasendorf übertrifft der $N_{\min}$ Gehalt nach dem Einarbeiten der Begrünung selbst die Werte unter Schwarzbrache. In Summe ist der $N_{\min}$ -Gehalt bei einer Gründüngung um 5-10% niedriger als unter Schwarzbrache, ein Abernten der Zwischenfrüchte senkt den Gehalt um 25% bis teilweise 40%.

15.4.2 Ergebnisse im Herbstdüngungsversuch Pölla

Tab. 36 $N_{\min_gesamt}$ Mittelwerte der Varianten [kg/ha]

V.		vor der Herbst-Düngung	nach ZF-Anbau bzw Düngung von V3 mit 15 m ³ und V4 mit 25 m ³ Biogasgülle	Auswaschungsperiode vor Frühjahrsdüngung mit 30 m ³ Biogasgülle	nach Ernte bzw. Mulchen der ZF	nach Maisernte (alle Varianten einheitlich bewirtschaftet)
	Beprobungstermin	Sep.2013	Nov.2013	Feb.2014	Mai.2014	Sep.2014
0	ohne Winter-ZF	14,0	52,6	62,4	77,2	31,0
1	W-ZF gemulcht, ohne Düngung im Herbst u. Frühjahr	13,9	36,0	40,2	47,1	30,8
2	W-ZF geerntet, ohne Düngung im Herbst	11,5	23,6	17,5	38,3	36,7
3	W-ZF geerntet, 15 m ³ im Herbst	9,5	40,5	14,8	47,7	33,6
4	W-ZF geerntet, 25 m ³ im Herbst	13,7	63,5	17,3	48,8	24,0

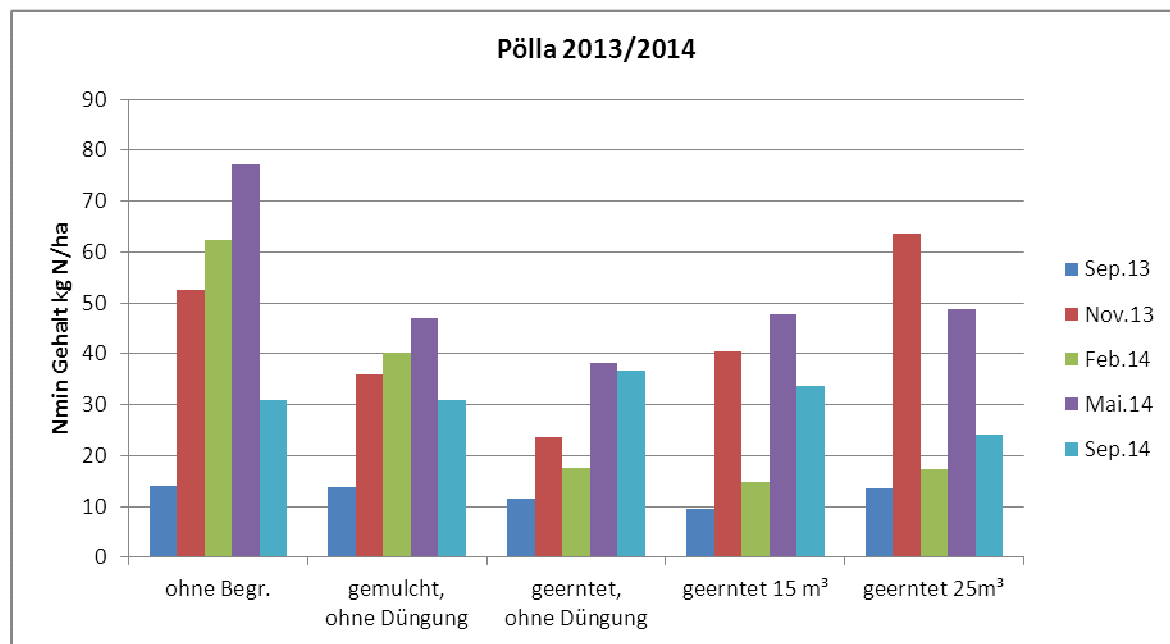


Abb. 54 Ergebnisse der Nmin Untersuchungen am Standort in Pölla

Auf einer zusätzlichen Versuchsfläche in Pölla (NÖ) wurde ein Herbstdüngungsversuch angelegt, welcher in der Saison 2013/2014 ebenfalls anhand von Bodenproben auf den Gehalt an N_{min} untersucht wurde. Durch eine Herbstdüngung mit 15 m³ Biogasgülle (feldfallend N_{ges} ca. 67 kg/ha, Anteil N_{min} ca. 36 kg/ha) wurde im Vergleich zu den ungedüngten ZF-Varianten im November 2013 ein um ca. 35% erhöhter N_{min} -Gehalt gemessen. Eine Herbstdüngung mit 25 m³ (feldfallend N_{ges} ca. 112 kg/ha, Anteil N_{min} ca. 60 kg/ha feldfallend) übertrifft bereits die Werte unter Schwarzbrache um 20 %, im Vergleich zu den ungedüngten Varianten ist ein Anstieg von über 100 % gegeben. Bei diesen beiden Varianten dürfte das N-Angebot den Pflanzenbedarf übersteigen.

Vom Grünschnittroggen wurden bis 21.11. ohne Düngung 17 kg N /ha aufgenommen, davon 12 kg in der oberirdischen Pflanzenmasse. Bei einer Düngung mit 15 m³ Biogasgülle waren 30 kg N / ha in der Grünschnittroggen-Biomasse enthalten, davon 21 kg oberirdisch. Bei der Düngung mit 25 m³ Biogasgülle stieg die Aufnahme nur mehr geringfügig auf 32 kg N / ha an mit einem Anteil von 27 kg N oberirdisch. Im Vergleich zur niedrigeren Düngung oder dem Verzicht auf eine Düngung wurde in dieser Variante sogar weniger Wurzel-Biomasse gebildet – der Anteil beträgt nur mehr 30 % im Vergleich zu 60 % bei geringerer Düngung oder 80 % ohne Düngung im Oktober. Auch die Gesamt-Biomassebildung stieg gegenüber der niedrigeren Düngung nur mehr geringfügig von 700 auf 710 kg an.

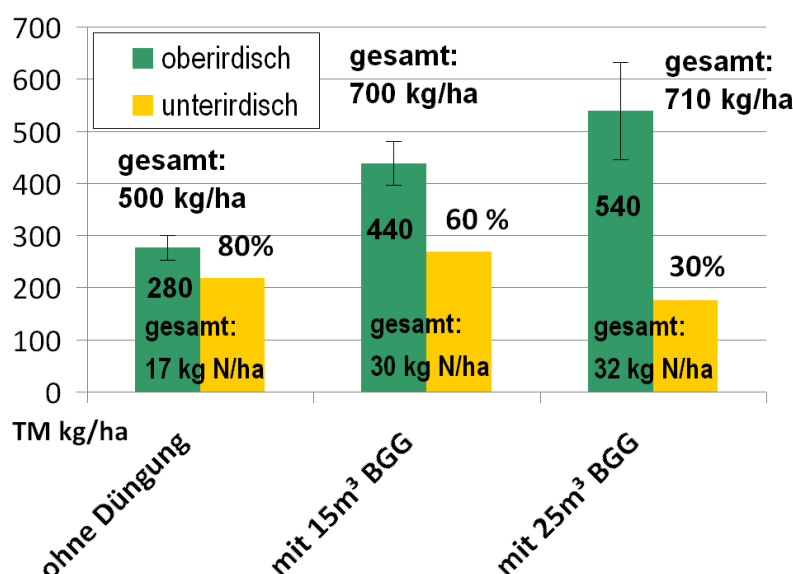


Abb. 55 Biomassebildung von Grünschnittroggen bis 21.11.2013 ohne Düngung bzw. mit 15 oder 25 m³ Biogasgülle Anfang Oktober

Eine Düngung im Oktober, die den Pflanzenbedarf übersteigt, könnte insbesondere auf mäßig bis stark auswaschungsgefährdeten Flächen dazu führen, dass ein Teil des im Herbst ausgebrachten Stickstoffs durch Auswaschung verloren geht. Auf dem Standort in Pölla dürfte dies nicht der Fall gewesen sein, denn der Ertrag des Grünschnittroggens stieg durch die Herbstdüngung mit 15 m³ von 5 t TS/ ha auf 6,4 t TS / ha. Durch die Düngung mit 25 m³ wurden eine Ertragssteigerung auf 7,4 t TS/ha erreicht (siehe Tab. 37). In weiteren Versuchen wäre zu klären, ob sich diese Ergebnisse bestätigen und ob durch eine höhere Frühjahrsdüngung in zwei Gaben, sofern dies bei den jeweiligen Standort- und Klimabedingungen möglich ist, unter Umständen ein höherer Ertragseffekt bei geringerem Auswaschungsrisiko erzielt werden kann.

Tab. 37 Trockensubstanzerträge von Grünschnittroggen und Silomais t TS/ha

V.	Beschreibung ZF/Brache	Biogasgülle zur W-ZF kg N/ha feldfallend	W-ZF-ertrag t TS/ha	W-ZF N-export kg N/ha	Düngung Silomais kg N/ha feldfallend	Silomais-ertrag t TS/ha	Silomais N-export kg N/ha	N-export gesamt kg N/ha	Saldo kg N/ha feldfallend
			Mai. 2014			Sep. 2014			
0	ohne Winter-ZF und Düngung	0	-	-	140	15,8	202	202	- 62
1	W-ZF gemulcht, ohne Düngung im Herbst u. Frühjahr	0	-	-	140	16,4	175	175	- 35
2	W-ZF geerntet, ohne Düngung im Herbst u. 30 m³ im Frühjahr	104	5,0	72	140	16,2	184	256	-12
3	W-ZF geerntet, 15 m³ im Herbst und 30 m³ im Frühjahr	171	6,4	92	140	20,3	222	314	-3
4	W-ZF geerntet, 25 m³ im Herbst und 30 m³ im Frühjahr	217	7,4	115	140	17,0	196	311	46

Im Februar des Folgejahres sinken die Werte auf allen begrüneten Versuchsflächen, die Werte der Gründungsvariante etwas weniger. Im Mai nach der Ernte liegen die beiden Herbstdüngungsvarianten auf dem Niveau der Gründungsvariante. Die ungedüngte und beerntete Zwischenfrucht hingegen zeigt eine Verminderung gegenüber der Gründungsvariante um ca. 20 %. Interessanterweise konnte nur bei der Variante mit einer Herbstdüngung von

15 m³ eine deutliche Ertragssteigerung um 25 % beim Silomais ermittelt werden. Bei der Variante mit 25 m³ betrug die Steigerung nur knapp 5 %. Der Jahres-Saldo des feldfallenden Stickstoffs war mit Ausnahme der Variante mit 25 m³ Biogasgülle im Herbst negativ. Die Düngung des Roggens überstieg jedoch dessen Entzug. Der überschüssige Stickstoff könnte auf stark auswaschungsgefährdeten Flächen ausgewaschen werden. Der Jahresentzug lag bei den Varianten mit beernteten Zwischenfrüchten über der Düngermenge, die ohne zusätzliche wasserrechtliche Genehmigung ausgebracht werden darf.

15.4.3 Grundwasserneubildung und Stickstoffverlagerung

Messergebnisse der Nitratkonzentrationen auf den Versuchsstandorten

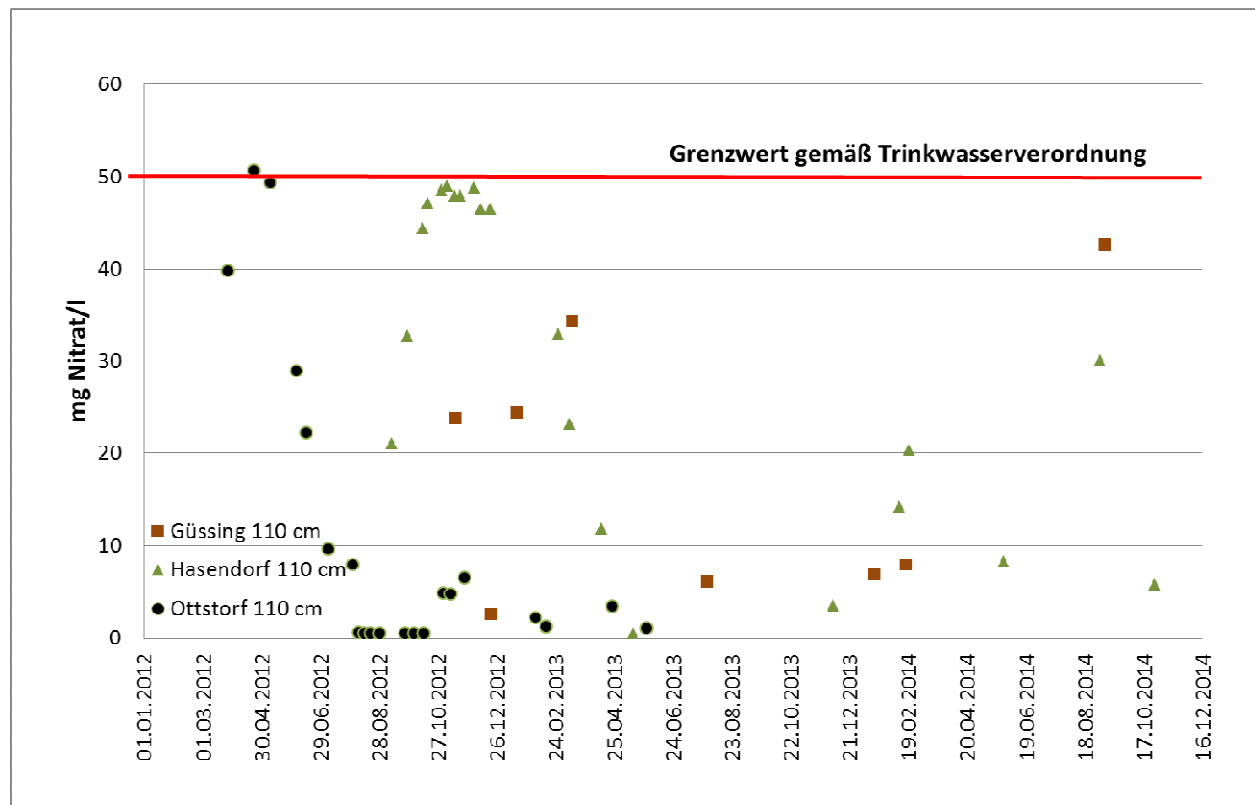


Abb. 56 Nitratkonzentrationen im Sickerwasser der Varianten, in denen Zwischenfrüchte für die Biogasferzeugung beerntet wurden

Die Nitratkonzentrationen in den auf den Versuchsanlagen gewonnenen Bodenwässern sind in der Abbildung unten zusammengefasst. Daraus ist der Durchbruch von Konzentrationsfronten gut ersichtlich. An der Messstelle Güssing wurden nur wenige Proben gewonnen. Dies ist größtenteils darauf zurückzuführen, dass sowohl im Jahr 2013 als auch 2014 starke Niederschläge eine wiederkehrende Überflutung der Messstelle herbeiführten. Aufgrund geringer Wasserleit- und Dränfähigkeiten des mit dichter Lagerung anstehenden schweren Bodens kam es in Folge zu einem Komplettausfall der Messsysteme. Ähnliche Probleme wenn auch in geringerem Ausmaß traten in Ottstorf/Thalheim auf. Das gemessene Konzentrationsmaximum aller Proben lag bei 50,7 mg NO₃/l, der Medianwert unter dem Grenzwert gemäß Trinkwasserverordnung (BGBl II 304/2001 i. d. g. F. bzw. Lebensmittelcodex - Kapitel B1), der bei 50 mg NO₃/l liegt.

Eingangsdaten Bodenwasserhaushalt-Stofftransport-Modellierung STOTRASIM

Tab. 38 Eingangsdaten STOTRASIM zur Anpassung des Modells an Messergebnisse der Standorte Ottstorf und Güssing für die Varianten V0 ohne ZF; V1 ZF gemulcht; V2 und V3 ZF beerntet mit unterschiedlicher Bodenbearbeitung

Standort	V.	Frucht	Anbau Datum	Ernte Datum	Anteil Stroh / Biomasse am Feld verbleibend %	Düngung ges. kg N/ha	Düngung jw kg N/ha	N-Fixierung kg N/ha
Ottstorf/Thalheim	V0	Winterweizen	21.10.2009	10.08.2010	0	124,9	124,9	0
Ottstorf/Thalheim	V0	Körnermais	23.04.2011	27.09.2011	100	107,3	107,3	0
Ottstorf/Thalheim	V0	Soja	27.04.2012	20.09.2012	100	0,0	0,0	110
Ottstorf/Thalheim	V1	Phac-Klee-Ölrettich	23.07.2009	15.10.2009	100	53,3	46,4	93
Ottstorf/Thalheim	V1	Winterweizen	21.10.2009	10.08.2010	0	124,9	124,9	0
Ottstorf/Thalheim	V1	Klee-Roggen-Rübsen	13.08.2010	16.10.2010	100	35,0	30,5	38
Ottstorf/Thalheim	V1	Klee-Roggen-Rübsen	17.10.2010	16.04.2011	100	0,0	0,0	3
Ottstorf/Thalheim	V1	Körnermais	23.04.2011	27.09.2011	100	107,3	107,3	0
Ottstorf/Thalheim	V1	Klee-Roggen-Rübsen	28.09.2012	26.04.2012	100	0,0	0,0	0
Ottstorf/Thalheim	V1	Soja	27.04.2012	20.09.2012	100	0,0	0,0	0
Ottstorf/Thalheim	V2	Phac-Klee-Ölrettich	23.07.2009	15.10.2009	0	67,5	58,7	93
Ottstorf/Thalheim	V2	Winterweizen	21.10.2009	10.08.2010	0	124,9	124,9	0
Ottstorf/Thalheim	V2	Klee-Roggen-Rübsen	13.08.2010	16.10.2010	nicht erntewürdig	47,8	41,6	37
Ottstorf/Thalheim	V2	Klee-Roggen-Rübsen	17.10.2010	16.04.2011	nicht erntewürdig	0,0	0,0	3
Ottstorf/Thalheim	V2	Körnermais	23.04.2011	27.09.2011	100	107,3	107,3	0
Ottstorf/Thalheim	V2	Klee-Roggen-Rübsen	28.09.2012	06.05.2012	nicht erntewürdig	0,0	0,0	170
Ottstorf/Thalheim	V2	Soja	07.05.2012	20.09.2012	100	0,0	0,0	95
Ottstorf/Thalheim	V3	Phac-Klee-Ölrettich	23.07.2009	15.10.2009	0	67,5	58,7	92
Ottstorf/Thalheim	V3	Winterweizen	21.10.2009	10.08.2010	0	124,9	124,9	0
Ottstorf/Thalheim	V3	Klee-Roggen-Rübsen	13.08.2010	16.10.2010	nicht erntewürdig	47,8	41,6	37
Ottstorf/Thalheim	V3	Klee-Roggen-Rübsen	17.10.2010	16.04.2011	nicht erntewürdig	0,0	0,0	3
Ottstorf/Thalheim	V3	Körnermais	23.04.2011	27.09.2011	100	107,3	107,3	0
Ottstorf/Thalheim	V3	Klee-Roggen-Rübsen	28.09.2012	06.05.2012	nicht erntewürdig	0,0	0,0	170
Ottstorf/Thalheim	V3	Soja	07.05.2012	20.09.2012	100	0,0	0,0	98
Güssing	V0	Winterweizen	18.10.2009	18.07.2010	0	129,6	129,6	0
Güssing	V0	Körnermais	19.04.2011	28.09.2011	100	127,7	127,7	0
Güssing	V0	Soja	10.05.2012	18.09.2012	100	0	0	82
Güssing	V0	Mais-Kümmerer	10.05.2013	06.08.2013	100	84,7	73,7	0
Güssing	V0	Klee-Roggen-Wicke	07.08.2013	09.10.2013	0	0	0	23
Güssing	V1	Winterweizen	18.10.2009	18.07.2010	0	129,6	129,6	0
Güssing	V1	Klee-Roggen-Wicke	20.07.2010	16.10.2010	100	97,3	84,6	46
Güssing	V1	Klee-Roggen-Wicke	17.10.2010	18.04.2011	100	0	0	133
Güssing	V1	Körnermais	19.04.2011	28.09.2011	100	127,7	127,7	0
Güssing	V1	Grünschnittroggen	01.10.2011	15.03.2012	100	0	0	0
Güssing	V1	Soja	03.05.2012	18.09.2012	100	0	0	123
Güssing	V1	Grünschnittroggen	19.09.2012	30.04.2013	100	0	0	0
Güssing	V1	Mais-Kümmerer	10.05.2013	06.08.2013	0	84,7	73,7	0
Güssing	V1	Klee-Roggen-Wicke	07.08.2013	09.10.2013	0	0	0	18
Güssing	V1	Grünschnittroggen	10.10.2013	14.04.2014	100	169,4	147,3	0
Güssing	V2	Winterweizen	18.10.2009	18.07.2010	0	129,6	129,6	0
Güssing	V2	Klee-Roggen-Wicke	20.07.2010	11.10.2010	0	118,9	103,4	46
Güssing	V2	Klee-Roggen-Wicke	12.10.2010	06.05.2011	0	89,7	78	172
Güssing	V2	Körnermais	11.05.2011	28.09.2011	100	163,7	163,7	0
Güssing	V2	Grünschnittroggen	01.10.2011	09.05.2012	0	118,2	102,9	0
Güssing	V2	Soja	10.05.2012	18.09.2012	100	0	0	109
Güssing	V2	Grünschnittroggen	19.09.2012	09.05.2013	0	101,7	88,4	0
Güssing	V2	Mais-Kümmerer	10.05.2013	06.08.2013	0	84,7	73,7	0
Güssing	V2	Klee-Roggen-Wicke	07.08.2013	09.10.2013	0	0	0	14
Güssing	V2	Grünschnittroggen	10.10.2013	28.04.2014	0	169,4	147,3	0
Güssing	V3	Winterweizen	18.10.2009	18.07.2010	0	129,6	129,6	0
Güssing	V3	Klee-Roggen-Wicke	20.07.2010	11.10.2010	0	118,9	103,4	46
Güssing	V3	Klee-Roggen-Wicke	12.10.2010	06.05.2011	0	89,7	78	172
Güssing	V3	Körnermais	11.05.2011	28.09.2011	100	163,7	163,7	0
Güssing	V3	Grünschnittroggen	01.10.2011	09.05.2012	0	118,2	102,9	0
Güssing	V3	Soja	10.05.2012	18.09.2012	100	0	0	109
Güssing	V3	Grünschnittroggen	19.09.2012	09.05.2013	0	101,7	88,4	0
Güssing	V3	Mais-Kümmerer	10.05.2013	06.08.2013	0	84,7	73,7	0
Güssing	V3	Klee-Roggen-Wicke	07.08.2013	09.10.2013	0	0	0	14
Güssing	V3	Grünschnittroggen	10.10.2013	28.04.2014	0	169,4	147,3	0

In Tab. 38 und Tab. 39 sind die Eingangsdaten für STOTRASIM zusammengestellt, die zur Anpassung des Modells an Messergebnisse der Standorte Ottstorf bei Thalheim, Güssing, Hasendorf bei Leibnitz, Pölla bei Mank und Schönabrunn bei Bruck/Leitha für die Varianten

„V0 ohne ZF bzw. Schwarzbrache“, „V1 ZF gemulcht zur Gründüngung“ sowie „V2 und V3 ZF beerntet (jeweils mit unterschiedlicher Bodenbearbeitung)“ zusammengestellt.

Tab. 39 Eingangsdaten STOTRASIM zur Anpassung des Modells an Messergebnisse der Standorte Hasendorf, Pölla, Schönabrunn für die Varianten V0 ohne ZF; V1 ZF gemulcht; V2 und V3 ZF beerntet mit unterschiedlicher Bodenbearbeitung

Standort	V.	Frucht	Anbau Datum	Ernte Datum	Anteil Stroh / Biomasse am Feld verbleibend %	Düngung ges. kg N/ha	Düngung jw kg N/ha	N-Fixierung kg N/ha
Hasendorf	V0	Silomais	20.04.2010	10.09.2010	0	99,9	99,9	0
Hasendorf	V0	Kürbis	02.05.2011	17.09.2011	100	54	54	0
Hasendorf	V0	Silomais	09.04.2012	17.09.2012	0	157,5	145,8	0
Hasendorf	V0	Soja	16.05.2013	22.09.2013	100	0	0	123
Hasendorf	V1	Grünschnittroggen	13.09.2009	15.04.2010	100	46,4	40,4	0
Hasendorf	V1	Silomais	20.04.2010	10.09.2010	0	99,9	99,9	0
Hasendorf	V1	Grünschnittroggen	01.10.2010	01.05.2011	100	124,1	114,9	0
Hasendorf	V1	Kürbis	02.05.2011	17.09.2011	100	54	54	0
Hasendorf	V1	Grünschnittroggen	23.09.2011	23.03.2012	100	79,6	69,3	0
Hasendorf	V1	Silomais	09.04.2012	17.09.2012	0	157,5	145,8	0
Hasendorf	V1	Grünschnittroggen	21.09.2012	30.04.2013	100	46,4	40,4	0
Hasendorf	V1	Soja	16.05.2013	22.09.2013	100	0	0	118
Hasendorf	V1	Grünschnittroggen	04.10.2013	29.04.2014	100	0	0	0
Hasendorf	V2	Grünschnittroggen	13.09.2009	15.04.2010	100	46,4	40,4	0
Hasendorf	V2	Silomais	20.04.2010	10.09.2010	0	99,9	99,9	0
Hasendorf	V2	Grünschnittroggen	01.10.2010	01.05.2011	100	0	0	0
Hasendorf	V2	Kürbis	02.05.2011	17.09.2011	100	54	54	0
Hasendorf	V2	Grünschnittroggen	23.09.2011	23.03.2012	100	79,6	69,3	0
Hasendorf	V2	Silomais	09.04.2012	17.09.2012	0	162	162	0
Hasendorf	V2	Grünschnittroggen	21.09.2012	30.04.2013	100	46,5	40,4	0
Hasendorf	V2	Soja	16.05.2013	22.09.2013	100	0	0	123
Hasendorf	V2	Grünschnittroggen	04.10.2013	29.04.2014	100	0	0	0
Hasendorf	V3	Grünschnittroggen	13.09.2009	03.05.2010	0	46,4	40,4	0
Hasendorf	V3	Silomais	04.05.2010	10.09.2010	0	99,9	99,9	0
Hasendorf	V3	Grünschnittroggen	01.10.2010	01.05.2011	0	52,7	45,9	0
Hasendorf	V3	Kürbis	02.05.2011	17.09.2011	100	54	54	0
Hasendorf	V3	Grünschnittroggen	23.09.2011	02.05.2012	0	77,8	67,7	0
Hasendorf	V3	Silomais	05.05.2012	17.09.2012	0	162	162	0
Hasendorf	V3	Grünschnittroggen	21.09.2012	13.05.2013	0	46,4	40,4	0
Hasendorf	V3	Soja	16.05.2013	22.09.2013	100	0	0	122
Hasendorf	V3	Grünschnittroggen	04.10.2013	29.04.2014	0	0	0	0
Schönabrunn	V0	Winterweizen	30.10.2010	08.07.2011	100	0	0	0
Schönabrunn	V0	Soja	02.06.2012	25.09.2012	100	0	0	59
Schönabrunn	V0	Körnermais	14.05.2013	21.10.2013	100	0	0	0
Schönabrunn	V0	Soja	28.04.2014	26.09.2014	100	0	0	37
Schönabrunn	V1	Winterweizen	30.10.2010	08.07.2011	100	111,7	97,2	0
Schönabrunn	V1	Klee-Roggen-Wicke	18.07.2011	27.11.2011	100	68,4	59,5	77
Schönabrunn	V1	Soja	02.06.2012	21.09.2012	100	0	0	149
Schönabrunn	V1	Klee-Roggen-Rübsen	01.10.2012	18.04.2013	100	0	0	39
Schönabrunn	V1	Körnermais	14.05.2013	25.10.2013	100	0	0	0
Schönabrunn	V1	Klee-Roggen-Rübsen	28.10.2013	08.04.2014	100	0	0	16
Schönabrunn	V1	Soja	28.04.2014	26.09.2014	100	0	0	83
Schönabrunn	V2	Winterweizen	30.10.2010	08.07.2011	100	110	95,7	0
Schönabrunn	V2	Klee-Roggen-Wicke	18.07.2011	27.11.2011	nicht erntewürdig	70	60,9	67
Schönabrunn	V2	Soja	02.06.2012	25.09.2012	100	0	0	148
Schönabrunn	V2	Klee-Roggen-Rübsen	01.10.2012	10.05.2013	0	67	58,3	98
Schönabrunn	V2	Körnermais	14.05.2013	21.10.2013	100	0	0	0
Schönabrunn	V2	Klee-Roggen-Rübsen	28.10.2013	08.04.2014	nicht erntewürdig	136,1	118,4	15
Schönabrunn	V2	Soja	28.04.2014	26.09.2014	100	0	0	137

In Tab. 40 sind die Fruchtfolge und Düngungsdaten zusammengestellt, die zur separaten Modellierung der Effekte von S-ZF und W-ZF verwendet wurden. Es wurden Fruchtfolgen zusammengestellt, die entweder nur Winterungen enthalten, um die Effekte von S-ZF bewerten zu können oder Fruchtfolgen, die sich nur aus den Hauptkulturen Mais, Soja oder Ölkürbis als Hauptkulturen zusammensetzen, um die Effekte von W-ZF ermitteln zu können. Mit diesen Fruchtfolgen wurden auf allen 5 Standorten die Auswirkungen auf die Grundwasserneubildung sowie die Nitratkonzentration im Sickerwasser als auch den N-Austrag pro ha ermittelt.

Tab. 40 Eingangsdaten für die Modellierung einheitlicher Fruchtfolgen auf 5 Versuchsstandorten

Variante	Frucht	Anbau Datum	Ernte Datum	Anteil Stroh / Biomasse am Feld verbleibend in %	Düngung gesamt kg N/ha	Düngung jw kg N/ha
BSo	Winterroggen	06.10.2009	30.07.2010	100	111,2	102,0
BSo	Winterweizen	21.10.2010	25.07.2011	100	154,3	146,6
BSo	Wintergerste	30.09.2011	05.07.2012	100	144,3	136,6
BSo	Winterraps	19.09.2012	10.07.2013	100	198,3	179,0
BSo	Winterweizen	21.10.2013	20.07.2014	100	154,3	146,6
SooB	Winterroggen	06.10.2009	30.07.2010	100	111,2	102,0
SooB	Sommerzwischenfrucht	10.08.2010	10.10.2010	100	0,0	0,0
SooB	Winterweizen	21.10.2010	25.07.2011	100	146,6	139,9
SooB	Sommerzwischenfrucht	06.08.2011	19.09.2011	100	0,0	0,0
SooB	Wintergerste	30.09.2011	05.07.2012	100	136,6	129,9
SooB	Sommerzwischenfrucht	16.07.2012	08.09.2012	100	0,0	0,0
SooB	Winterraps	19.09.2012	10.07.2013	100	179,0	162,2
SooB	Sommerzwischenfrucht	21.07.2013	10.10.2013	100	0,0	0,0
SooB	Winterweizen	21.10.2013	20.07.2014	100	146,6	139,9
SooB	Sommerzwischenfrucht	31.07.2014	30.09.2014	100	0,0	0,0
SomB	Winterroggen	06.10.2009	30.07.2010	100	134,9	122,6
SomB	Sommerzwischenfrucht	31.07.2010	20.10.2010	0	33,0	28,7
SomB	Winterweizen	21.10.2010	25.07.2011	100	179,6	168,6
SomB	Sommerzwischenfrucht	26.07.2011	29.09.2011	0	56,8	49,4
SomB	Wintergerste	30.09.2011	05.07.2012	100	193,4	179,3
SomB	Sommerzwischenfrucht	06.07.2012	18.09.2012	0	56,8	49,4
SomB	Winterraps	19.09.2012	10.07.2013	25	158,4	144,3
SomB	Sommerzwischenfrucht	11.07.2013	20.10.2013	0	56,8	49,4
SomB	Winterweizen	21.10.2013	20.07.2014	100	211,1	196,0
SomB	Sommerzwischenfrucht	21.07.2014	30.09.2014	0	56,8	49,4
BWi	Kürbis	05.05.2009	14.09.2009	100	30,0	30,0
BWi	Körnermais	26.04.2010	30.09.2010	100	189,0	172,2
BWi	Soja	06.05.2011	20.09.2011	100	0,0	0,0
BWi	Körnermais	26.04.2012	30.09.2012	100	189,0	172,2
BWi	Kürbis	01.05.2013	14.09.2013	100	30,0	30,0
BWi	Körnermais	26.04.2014	30.09.2014	100	189,0	172,2
WioB	Kürbis	25.04.2009	04.09.2009	100	30,0	30,0
WioB	Grünschnittroggen	15.09.2009	01.04.2010	100	0,0	0,0
WioB	Körnermais	16.04.2010	30.09.2010	100	189,0	172,2
WioB	Grünschnittroggen	01.10.2010	14.04.2011	100	0,0	0,0
WioB	Soja	25.04.2011	20.09.2011	100	0,0	0,0
WioB	Grünschnittroggen	21.09.2011	01.04.2012	100	0,0	0,0
WioB	Körnermais	16.04.2012	30.09.2012	100	189,0	172,2
WioB	Grünschnittroggen	01.10.2012	14.04.2013	100	0,0	0,0
WioB	Kürbis	25.04.2013	04.09.2013	100	30,0	30,0
WioB	Grünschnittroggen	15.09.2013	01.04.2014	100	0,0	0,0
WioB	Körnermais	16.04.2014	30.09.2014	100	189,0	172,2
WimB	Kürbis	05.05.2009	14.09.2009	100	30,0	30,0
WimB	Grünschnittroggen	15.09.2009	25.04.2010	0	103,2	89,8
WimB	Körnermais	26.04.2010	30.09.2010	100	133,2	119,8
WimB	Grünschnittroggen	01.10.2010	05.05.2011	0	129,0	112,2
WimB	Soja	06.05.2011	20.09.2011	100	0,0	0,0
WimB	Grünschnittroggen	21.09.2011	25.04.2012	0	103,2	89,8
WimB	Körnermais	26.04.2012	30.09.2012	100	133,2	119,8
WimB	Grünschnittroggen	01.10.2012	30.04.2013	0	129,0	112,2
WimB	Kürbis	01.05.2013	14.09.2013	100	30,0	30,0
WimB	Grünschnittroggen	15.09.2013	25.04.2014	0	103,2	89,8
WimB	Körnermais	26.04.2014	30.09.2014	100	133,2	119,8
WimB50	Kürbis	05.05.2009	14.09.2009	100	30,0	30,0
WimB50	Grünschnittroggen	15.09.2009	25.04.2010	0	129,0	112,2
WimB50	Körnermais	26.04.2010	30.09.2010	25	159,0	142,2
WimB50	Grünschnittroggen	01.10.2010	05.05.2011	0	129,0	112,2
WimB50	Soja	06.05.2011	20.09.2011	50	0,0	0,0
WimB50	Grünschnittroggen	21.09.2011	25.04.2012	0	129,0	112,2
WimB50	Körnermais	26.04.2012	30.09.2012	25	159,0	142,2
WimB50	Grünschnittroggen	01.10.2012	30.04.2013	0	129,0	112,2
WimB50	Kürbis	01.05.2013	14.09.2013	100	30,0	30,0
WimB50	Grünschnittroggen	15.09.2013	25.04.2014	0	129,0	112,2
WimB50	Körnermais	26.04.2014	30.09.2014	25	159,0	142,2

Die Variantenbezeichnungen stehen für folgende Arten der ZF-Nutzung:

Bso	ohne S-ZF	BWi	ohne W-ZF
SooB	S-ZF gemulcht	WioB	W-ZF gemulcht
SomB	S-ZF beerntet	WimB	W-ZF beerntet
		WimB50	W-ZF beerntet mit höherem Düngeniveau

Unter den jeweiligen Standortbedingungen wurden vom Modell für Soja unterschiedliche Ertragsniveaus und Stickstofffixierungsleistungen ermittelt. In Tab. 41 ist die N-Fixierung der 5 Standorte ersichtlich. In der Variante WimB50 wurde davon ausgegangen, dass im Jahr 2011 50% des Sojastrohs und im Jahren 2010, 2012 und 2014 75% des Maisstrohs für die Biogaserzeugung beerntet werden. In der Variante SomB wurde im Jahr 2013 von einer Nutzung von 75% des Rapsstrohs für die Biogaserzeugung ausgegangen.

Tab. 41 Mit dem Modell ermittelte Stickstofffixierungsleistungen von Soja auf den 5 Versuchsstandorten

Variante	Anbau Datum	Ernte Datum	Anteil Stroh / Biomasse am Feld verbleibend in %	N-Fixierung [kg N/ha]				
				Ottstorf/Thalheim	Güssing	Hasendorf	Pölla	Schönabrunn
BWi	06.05.2011	20.09.2011	100	153	167	182	151	169
WioB	25.04.2011	20.09.2011	100	171	144	188	155	164
WimB	06.05.2011	20.09.2011	100	149	150	155	129	149
WimB50	06.05.2011	20.09.2011	50	157	154	160	133	149

Ergebnisse Modellierung mit STOTRASIM

Tab. 42 Modellierungsergebnisse: Grundwasserneubildung, N-Austrag, N-Konzentration im Sickerwasser

Standort	Variante	Grundwasserneubildung mm/a	Grundwasserneubildung in % des NS	Düngung gesamt + N-Fixierung kg N/ha	Düngung + N-Fixierung jw kg N/ha	N-Austrag kg N/ha	N-Konzentration mg NO3/l
leichter Boden - Hasendorf	BSo	374	38	153	142	47	56
leichter Boden - Hasendorf	SooB	372	38	144	135	46	54
leichter Boden - Hasendorf	SomB	361	36	228	207	37	45
leichter Boden - Hasendorf	BWi	398	41	135	122	35	39
leichter Boden - Hasendorf	WioB	358	37	136	123	32	40
leichter Boden - Hasendorf	WimB	322	33	219	194	24	33
mittlerer Boden - Mittel Pölla O./Thalheim	BSo	262	35	153	142	39	66
mittlerer Boden - Mittel Pölla O./Thalheim	SooB	251	33	144	135	36	64
mittlerer Boden - Mittel Pölla O./Thalheim	SomB	233	31	228	207	28	54
mittlerer Boden - Mittel Pölla O./Thalheim	BWi	247	34	130	118	30	54
mittlerer Boden - Mittel Pölla O./Thalheim	WioB	204	28	134	122	23	49
mittlerer Boden - Mittel Pölla O./Thalheim	WimB	167	23	216	191	26	69
schwerer Boden Güssing	BSo	54	6	153	142	7	60
schwerer Boden Güssing	SooB	44	5	144	135	5	48
schwerer Boden Güssing	SomB	19	2	228	207	1	27
schwerer Boden Güssing	BWi	60	7	132	120	8	57
schwerer Boden Güssing	WioB	43	5	129	117	7	67
schwerer Boden Güssing	WimB50	19	2	244	215	2	42
ohne S-ZF Durchschnitt	BSo	259	29	153	142	34	59
S-ZF gemulcht Durchschnitt	SooB	253	28	144	135	32	54
S-ZF beerntet Durchschnitt	SomB	237	26	228	207	25	41
ohne W-ZF Durchschnitt	BWi	270	30	132	120	28	50
W-ZF gemulcht Durchschnitt	WioB	241	27	133	121	26	53
W-ZF beerntet Durchschnitt	WimB(50)	212	23	226	200	21	45
ohne ZF Durchschnitt	Bso/Bwi	265	30	143	131	31	55
ZF gemulcht Durchschnitt	SooB/WioB	247	27	139	128	29	54
ZF beerntet Durchschnitt	SomB/WimB	225	25	227	204	23	43

Im Durchschnitt über alle Standorte und Fruchtfolgen wird durch die Biogaserzeugung aus Zwischenfrüchten sowohl der Nitrataustrag als auch die Sickerwasserreduktion nicht nur im Vergleich zur Schwarzbrache sondern auch gegenüber ZF zur Gründüngung reduziert. In Gebieten mit Wasserknappheit und sinkenden Grundwasserspiegeln ist jedoch zu berücksichtigen, dass es durch die höhere Biomassebildung von ZF mit Beerntung im Vergleich zu ZF zur Gründüngung zu einer zusätzlichen Absenkung der Grundwasserneubildungsrate kommt.

15.4.4 Abschätzung von Lachgasemissionen

Die Berechnung der Lachgasemissionen basiert auf den beiden Modellen, welche bereits im Vorprojekt entwickelt wurden – siehe ALLESCH (2011). Bei der Verwendung der Modelle zeigte sich allerdings, dass der Wasseranteil den tatsächlich mit Wasser gefüllten Porenraum und damit die Grenze zwischen aeroben und anaeroben Verhältnissen im Boden nicht ausreichend widerspiegelt und der Vergleich zwischen unterschiedlichen Bodentypen daher verfälscht wird. Deshalb wurde zusätzlich der Water Filled Pore Space (WFPS) herangezogen.

Formel zur Berechnung der N₂O-Emissionen von Schwarzbrache:

$$N_2O - N = (-13,925 + 0,035 \cdot T + 0,090 \cdot S + 0,354 \cdot \theta) \cdot WFPS$$

[N ₂ O-N]	N ₂ O-Emissionen kg/ha/Jahr	[θ]	% maximaler Wasseranteil
[T]	% Tongehalt	[WFPS]	% Water Filled Pore Space
[S]	% Sandgehalt		

Berechnung der Lachgasemissionen bei Einarbeitung von ganzen Pflanzen oder Ernterückständen:

$$N_2O - N = (-24,382 + 0,061 \cdot T + 0,056 \cdot S + 0,652 \cdot \theta + 0,006 \cdot NPR + 0,002 \cdot \text{N-Düngung}) \cdot WFPS$$

[N ₂ O-N]	N ₂ O-Emissionen kg/ha/Jahr	[NPR]	kg/ha N-Input durch Pflanzenreste
[T]	% Tongehalt	[N-Düngung]	kg/ha Stickstoffinput durch Düngung
[S]	% Sandgehalt	[WFPS]	% Water Filled Pore Space nach
[θ]	% maximaler Wasseranteil		Ernte/Mulchen

Dieses Modell wurde zur Ermittlung der N₂O-Emissionen von ZF zur Gründüngung als auch von beernteten ZF und Hauptkulturen verwendet. Bei mittleren und schweren Böden bedingt dieses Modell gegenüber dem Modell für die Berechnung der N₂O-Emissionen eine deutliche Erhöhung von Schwarzbrache, auch wenn keine Düngung oder Aufbringung von Pflanzenrückständen erfolgt und alle übrigen Parameter gleich bleiben.

Literatur

ALLESCH A. (2011): Stickstoffumsetzung im Bodenwasser und in der bodennahen Luftschicht beim Zwischenfruchtanbau zur Biogasgewinnung. Diplomarbeit. Wien: Universität für Bodenkultur. (Zitierdatum: 9-2-2015) Abrufbar unter:
https://zidapps.boku.ac.at/abstracts/download.php?property_id=107&dataset_id=8323

Tab. 43 Eingangsdaten zur Abschätzung der Lachgasemissionen Güssing Teil 1

Jahr	B.	V.	Nutzung ZF	Anbau	Ernte	ZF-Art	Dünger kg N/ha	N-Gehalt Pflanze kg N/ha	Wassergehalt lt. N _{min}	Rd	Ton %	San d %	Wasseranteil lt. N _{min}	Wasseranteil lt. Modell (Vegetation)	Wasseranteil lt. Modell (Ernte)	Porenanteil
2009	A	0	ohne ZF	28.07.2009	16.10.2009	S-ZF	0	0,0	17,7	1,62	30,1	10,1	28,66	36,70	37,05	38
2009	A	1	gemulcht	28.07.2009	16.10.2009	S-ZF	0	29,9	16,4	1,62	30,1	10,1	26,54	35,43	36,82	38
2009	A	2	beernet	28.07.2009	16.10.2009	S-ZF	28	14,6	17,2	1,62	30,1	10,1	27,88	36,26	37,05	38
2009	A	3	beernet	28.07.2009	16.10.2009	S-ZF	28	25,9	16,8	1,62	30,1	10,1	27,23	36,10	37,05	38
2009	A	4	beernet	28.07.2009	16.10.2009	S-ZF	28	31,5	16,0	1,62	30,1	10,1	25,86	34,24	35,02	38
2009	A	5	beernet	28.07.2009	16.10.2009	S-ZF	28	93,3	16,0	1,62	30,1	10,1	25,98	34,37	35,15	38
2009	A	6	beernet	28.07.2009	16.10.2009	S-ZF	28	36,7	17,3	1,62	30,1	10,1	28,07	36,46	37,24	38
2009	A	7	beernet	28.07.2009	16.10.2009	S-ZF	28	45,3	17,1	1,62	30,1	10,1	27,77	36,15	36,93	38
2009	B	0	ohne ZF	28.07.2009	16.10.2009	S-ZF	0	0,0	19,3	1,62	30,1	10,1	31,28	39,32	39,67	38
2009	B	1	gemulcht	28.07.2009	16.10.2009	S-ZF	0	23,6	20,6	1,62	30,1	10,1	33,45	42,35	43,74	38
2009	B	2	beernet	28.07.2009	16.10.2009	S-ZF	28	25,8	18,4	1,62	30,1	10,1	29,88	38,26	39,05	38
2009	B	3	beernet	28.07.2009	16.10.2009	S-ZF	28	16,2	19,9	1,62	30,1	10,1	32,22	41,09	42,03	38
2009	B	4	beernet	28.07.2009	16.10.2009	S-ZF	28	31,8	19,9	1,62	30,1	10,1	32,20	40,58	41,36	38
2009	B	5	beernet	28.07.2009	16.10.2009	S-ZF	28	55,7	20,5	1,62	30,1	10,1	33,16	41,55	42,33	38
2009	B	6	beernet	28.07.2009	16.10.2009	S-ZF	28	21,6	19,7	1,62	30,1	10,1	31,94	40,32	41,11	38
2009	B	7	beernet	28.07.2009	16.10.2009	S-ZF	28	25,6	19,8	1,62	30,1	10,1	32,13	40,51	41,30	38
2009	C	0	ohne ZF	28.07.2009	16.10.2009	S-ZF	0	0,0	18,2	1,62	30,1	10,1	29,42	37,47	37,81	38
2009	C	1	gemulcht	28.07.2009	16.10.2009	S-ZF	0	22,1	16,9	1,62	30,1	10,1	27,30	36,19	37,58	38
2009	C	2	beernet	28.07.2009	16.10.2009	S-ZF	28	29,6	17,7	1,62	30,1	10,1	28,64	37,02	37,81	38
2009	C	3	beernet	28.07.2009	16.10.2009	S-ZF	28	20,2	17,3	1,62	30,1	10,1	27,99	36,86	37,81	38
2009	C	4	beernet	28.07.2009	16.10.2009	S-ZF	28	32,0	16,4	1,62	30,1	10,1	26,62	35,00	35,78	38
2009	C	5	beernet	28.07.2009	16.10.2009	S-ZF	28	107,0	16,5	1,62	30,1	10,1	26,75	35,13	35,91	38
2009	C	6	beernet	28.07.2009	16.10.2009	S-ZF	28	45,5	17,8	1,62	30,1	10,1	28,84	37,22	38,00	38
2009	C	7	beernet	28.07.2009	16.10.2009	S-ZF	28	46,9	17,6	1,62	30,1	10,1	28,53	36,91	37,70	38
2010	A	0	ohne ZF	20.07.2010	11.10.2010	S-ZF	0	0	10,8	1,62	30,1	10,1	17,55	36,96	37,36	38
2010	A	1	gemulcht	20.07.2010	11.10.2010	S-ZF	0	51,0	14,1	1,62	30,1	10,1	22,92	36,91	37,35	38
2010	A	2	beernet	20.07.2010	11.10.2010	S-ZF	44	55,0	12,9	1,62	30,1	10,1	20,84	37,00	37,36	38
2010	A	3	beernet	20.07.2010	11.10.2010	S-ZF	44	60,2	13,5	1,62	30,1	10,1	21,80	36,81	37,30	38
2010	A	4	beernet	20.07.2010	11.10.2010	S-ZF	44	37,1	9,9	1,62	30,1	10,1	16,11	32,27	32,63	38
2010	A	5	beernet	20.07.2010	11.10.2010	S-ZF	44	59,1	13,0	1,62	30,1	10,1	21,00	37,15	37,51	38
2010	A	6	beernet	20.07.2010	11.10.2010	S-ZF	44	67,6	15,6	1,62	30,1	10,1	25,23	41,39	41,75	38
2010	A	7	beernet	20.07.2010	11.10.2010	S-ZF	44	80,6	12,0	1,62	30,1	10,1	19,43	35,59	35,95	38
2010	A	8	beernet	20.07.2010	11.10.2010	S-ZF	44	109,7		1,62	30,1	10,1	0,00	kA	kA	38
2010	A	9	beernet	20.07.2010	11.10.2010	S-ZF	44	45,1		1,62	30,1	10,1	0,00	kA	kA	38
2010	B	0	ohne ZF	20.07.2010	11.10.2010	S-ZF	0	0	10,2	1,62	30,1	10,1	16,51	35,92	36,32	38
2010	B	1	gemulcht	20.07.2010	11.10.2010	S-ZF	0	42,8	13,5	1,62	30,1	10,1	21,88	35,87	36,31	38
2010	B	2	beernet	20.07.2010	11.10.2010	S-ZF	44	54,0	12,2	1,62	30,1	10,1	19,80	35,96	36,32	38
2010	B	3	beernet	20.07.2010	11.10.2010	S-ZF	44	57,0	12,8	1,62	30,1	10,1	20,76	35,77	36,26	38
2010	B	4	beernet	20.07.2010	11.10.2010	S-ZF	44	25,0	9,3	1,62	30,1	10,1	15,08	31,23	31,59	38
2010	B	5	beernet	20.07.2010	11.10.2010	S-ZF	44	56,1	12,3	1,62	30,1	10,1	19,96	36,12	36,48	38
2010	B	6	beernet	20.07.2010	11.10.2010	S-ZF	44	34,0	14,9	1,62	30,1	10,1	24,19	40,35	40,71	38
2010	B	7	beernet	20.07.2010	11.10.2010	S-ZF	44	56,3	11,4	1,62	30,1	10,1	18,39	34,55	34,91	38
2010	B	8	beernet	20.07.2010	11.10.2010	S-ZF	44	91,9		1,62	30,1	10,1	0,00	kA	kA	38
2010	B	9	beernet	20.07.2010	11.10.2010	S-ZF	44	40,3		1,62	30,1	10,1	0,00	kA	kA	38
2010	C	0	ohne ZF	20.07.2010	11.10.2010	S-ZF	0	0	11,2	1,62	30,1	10,1	18,09	37,50	37,90	38
2010	C	1	gemulcht	20.07.2010	11.10.2010	S-ZF	0	62,4	14,5	1,62	30,1	10,1	23,46	37,45	37,89	38
2010	C	2	beernet	20.07.2010	11.10.2010	S-ZF	44	66,2	13,2	1,62	30,1	10,1	21,38	37,54	37,90	38
2010	C	3	beernet	20.07.2010	11.10.2010	S-ZF	44	64,2	13,8	1,62	30,1	10,1	22,34	37,35	37,84	38
2010	C	4	beernet	20.07.2010	11.10.2010	S-ZF	44	26,3	10,3	1,62	30,1	10,1	16,65	32,81	33,17	38
2010	C	5	beernet	20.07.2010	11.10.2010	S-ZF	44	87,7	13,3	1,62	30,1	10,1	21,54	37,69	38,05	38
2010	C	6	beernet	20.07.2010	11.10.2010	S-ZF	44	65,1	15,9	1,62	30,1	10,1	25,77	41,93	42,29	38
2010	C	7	beernet	20.07.2010	11.10.2010	S-ZF	44	87,5	12,3	1,62	30,1	10,1	19,97	36,13	36,49	38
2010	C	8	beernet	20.07.2010	11.10.2010	S-ZF	44	101,5		1,62	30,1	10,1	0,00	kA	kA	38
2010	C	9	beernet	20.07.2010	11.10.2010	S-ZF	44	55,5		1,62	30,1	10,1	0,00	kA	kA	38
2010/11	A	0	ohne ZF	12.10.2010	06.05.2011	W-ZF	0	0	17,6	1,62	30,1	10,1	28,58	36,77	36,77	38
2010/11	A	1	gemulcht	12.10.2010	06.05.2011	W-ZF	0	28,7	18,3	1,62	30,1	10,1	29,70	36,52	36,72	38
2010/11	A	2	beernet	12.10.2010	06.05.2011	W-ZF	32	28,3	14,5	1,62	30,1	10,1	23,41	35,92	35,59	38
2010/11	A	3	beernet	12.10.2010	06.05.2011	W-ZF	32	28,7	17,2	1,62	30,1	10,1	27,92	36,46	36,31	38
2010/11	A	4	beernet	12.10.2010	06.05.2011	W-ZF	32	36,9	14,2	1,62	30,1	10,1	23,03	35,54	35,21	38
2010/11	A	5	beernet	12.10.2010	06.05.2011	W-ZF	32	56,2	14,8	1,62	30,1	10,1	23,98	36,49	36,16	38
2010/11	A	6	beernet	12.10.2010	06.05.2011	W-ZF	32	48,5	15,3	1,62	30,1	10,1	24,82	37,32	36,99	38
2010/11	A	7	beernet	12.10.2010	06.05.2011	W-ZF	32	49,5	15,3	1,62	30,1	10,1	24,82	37,33	37,00	38
2010/11	A	8	beernet	12.10.2010	06.05.2011	W-ZF	32	79,7		1,62	30,1	10,1	0,00	kA	kA	38
2010/11	A	9	beernet	12.10.2010	06.05.2011	W-ZF	32	49,6		1,62	30,1	10,1	0,00	kA	kA	38
2010/11	B	0	ohne ZF	12.10.2010	06.05.2011	W-ZF	0	0	18,3	1,62	30,1	10,1				

Tab. 44 Eingangsdaten zur Abschätzung der Lachgasemissionen Güssing Teil 2

Jahr	B.	V.	Nutzung ZF	Anbau	Ernte	ZF-Art	Dünger kg N/ha	N-Gehalt Pflanze kg N/ha	Wasser-gehalt lt. N _{min}	Rd	Ton %	Sand %	Wassera nteil lt. N _{min}	Wasseranteil lt. Modell (Vegetation)	Wasseranteil lt. Modell (Ernte)	Poren-anteil
2010/11	C	2	beerntet	12.10.2010	06.05.2011	W-ZF	32	35,6	15,7	1,62	30,1	10,1	25,47	37,98	37,65	38
2010/11	C	3	beerntet	12.10.2010	06.05.2011	W-ZF	32	29,4	18,5	1,62	30,1	10,1	29,97	38,51	38,37	38
2010/11	C	4	beerntet	12.10.2010	06.05.2011	W-ZF	32	37,3	15,5	1,62	30,1	10,1	25,08	37,59	37,26	38
2010/11	C	5	beerntet	12.10.2010	06.05.2011	W-ZF	32	81,5	16,1	1,62	30,1	10,1	26,04	38,55	38,22	38
2010/11	C	6	beerntet	12.10.2010	06.05.2011	W-ZF	32	30,6	16,6	1,62	30,1	10,1	26,87	39,38	39,05	38
2010/11	C	7	beerntet	12.10.2010	06.05.2011	W-ZF	32	78,4	16,6	1,62	30,1	10,1	26,87	39,38	39,05	38
2010/11	C	8	beerntet	12.10.2010	06.05.2011	W-ZF	32	30,7		1,62	30,1	10,1	0,00	kA	kA	38
2010/11	C	9	beerntet	12.10.2010	06.05.2011	W-ZF	32	102,5		1,62	30,1	10,1	0,00	kA	kA	38
2011/12	A	0	ohne ZF	06.10.2011	08.05.2012	W-ZF	0	0	18,6	1,62	30,1	10,1	30,15	33,31	36,79	38
2011/12	A	1	gemulcht	06.10.2011	08.05.2012	W-ZF	0	59,1	20,0	1,62	30,1	10,1	32,32	31,70	36,54	38
2011/12	A	2	beerntet	06.10.2011	08.05.2012	W-ZF	56	83,6	19,1	1,62	30,1	10,1	31,01	32,70	36,21	38
2011/12	A	3	beerntet	06.10.2011	08.05.2012	W-ZF	56	59,1	19,2	1,62	30,1	10,1	31,09	33,16	35,24	38
2011/12	A	4	beerntet	06.10.2011	08.05.2012	W-ZF	56	97,1	19,2	1,62	30,1	10,1	31,07	32,76	36,27	38
2011/12	A	5	beerntet	06.10.2011	08.05.2012	W-ZF	56	96,5	19,8	1,62	30,1	10,1	32,04	33,73	37,24	38
2011/12	A	6	beerntet	06.10.2011	08.05.2012	W-ZF	56	76,0	19,0	1,62	30,1	10,1	30,82	32,51	36,02	38
2011/12	A	7	beerntet	06.10.2011	08.05.2012	W-ZF	56	106,8	19,1	1,62	30,1	10,1	31,00	32,70	36,20	38
2011/12	B	0	ohne ZF	06.10.2011	08.05.2012	W-ZF	0	0,0	19,3	1,62	30,1	10,1	31,28	34,44	37,92	38
2011/12	B	1	gemulcht	06.10.2011	08.05.2012	W-ZF	0	85,3	20,6	1,62	30,1	10,1	33,45	32,83	37,67	38
2011/12	B	2	beerntet	06.10.2011	08.05.2012	W-ZF	56	95	18,4	1,62	30,1	10,1	29,88	31,58	35,08	38
2011/12	B	3	beerntet	06.10.2011	08.05.2012	W-ZF	56	73,2	19,9	1,62	30,1	10,1	32,22	34,28	36,37	38
2011/12	B	4	beerntet	06.10.2011	08.05.2012	W-ZF	56	86,0	19,9	1,62	30,1	10,1	32,20	33,89	37,40	38
2011/12	B	5	beerntet	06.10.2011	08.05.2012	W-ZF	56	114	20,5	1,62	30,1	10,1	33,16	34,86	38,36	38
2011/12	B	6	beerntet	06.10.2011	08.05.2012	W-ZF	56	79,4	19,7	1,62	30,1	10,1	31,94	33,64	37,14	38
2011/12	B	7	beerntet	06.10.2011	08.05.2012	W-ZF	56	65,3	19,8	1,62	30,1	10,1	32,13	33,82	37,33	38
2011/12	C	0	ohne ZF	06.10.2011	08.05.2012	W-ZF	0	0,0	20,4	1,62	30,1	10,1	33,09	36,25	39,73	38
2011/12	C	1	gemulcht	06.10.2011	08.05.2012	W-ZF	0	72,2	21,8	1,62	30,1	10,1	35,27	34,65	39,48	38
2011/12	C	2	beerntet	06.10.2011	08.05.2012	W-ZF	56	106,0	19,6	1,62	30,1	10,1	31,70	33,39	36,90	38
2011/12	C	3	beerntet	06.10.2011	08.05.2012	W-ZF	56	66	21,0	1,62	30,1	10,1	34,03	36,10	38,19	38
2011/12	C	4	beerntet	06.10.2011	08.05.2012	W-ZF	56	92,6	21,0	1,62	30,1	10,1	34,01	35,71	39,21	38
2011/12	C	5	beerntet	06.10.2011	08.05.2012	W-ZF	56	131,5	21,6	1,62	30,1	10,1	34,98	36,68	40,18	38
2011/12	C	6	beerntet	06.10.2011	08.05.2012	W-ZF	56	72,5	20,8	1,62	30,1	10,1	33,76	35,45	38,96	38
2011/12	C	7	beerntet	06.10.2011	08.05.2012	W-ZF	56	63,1	21,0	1,62	30,1	10,1	33,95	35,64	39,15	38
2012/13	A	0	ohne ZF	19.09.2012	01.05.2013	W-ZF	0	0	18,6	1,62	30,1	10,1	30,15	37,44	36,51	38
2012/13	A	1	gemulcht	19.09.2012	01.05.2013	W-ZF	0	128	20,0	1,62	30,1	10,1	32,32	36,91	37,53	38
2012/13	A	2	beerntet	19.09.2012	01.05.2013	W-ZF	55	124	19,1	1,62	30,1	10,1	31,01	36,87	36,07	38
2012/13	A	3	beerntet	19.09.2012	01.05.2013	W-ZF	55	128	19,2	1,62	30,1	10,1	31,09	37,01	35,68	38
2012/13	A	4	beerntet	19.09.2012	01.05.2013	W-ZF	55	140	19,2	1,62	30,1	10,1	31,07	36,93	36,13	38
2012/13	A	5	beerntet	19.09.2012	01.05.2013	W-ZF	55	118	19,8	1,62	30,1	10,1	32,04	37,90	37,09	38
2012/13	A	6	beerntet	19.09.2012	01.05.2013	W-ZF	55	156	19,0	1,62	30,1	10,1	30,82	36,68	35,87	38
2012/13	A	7	beerntet	19.09.2012	01.05.2013	W-ZF	55	113	19,1	1,62	30,1	10,1	31,00	36,87	36,06	38
2012/13	B	0	ohne ZF	19.09.2012	01.05.2013	W-ZF	0	0	19,3	1,62	30,1	10,1	31,28	38,57	38,64	38
2012/13	B	1	gemulcht	19.09.2012	01.05.2013	W-ZF	0	119	20,6	1,62	30,1	10,1	33,45	38,04	37,65	38
2012/13	B	2	beerntet	19.09.2012	01.05.2013	W-ZF	55	108	18,4	1,62	30,1	10,1	29,88	35,75	34,94	38
2012/13	B	3	beerntet	19.09.2012	01.05.2013	W-ZF	55	119	19,9	1,62	30,1	10,1	32,22	38,14	36,80	38
2012/13	B	4	beerntet	19.09.2012	01.05.2013	W-ZF	55	131	19,9	1,62	30,1	10,1	32,20	38,06	37,25	38
2012/13	B	5	beerntet	19.09.2012	01.05.2013	W-ZF	55	110	20,5	1,62	30,1	10,1	33,16	39,03	38,22	38
2012/13	B	6	beerntet	19.09.2012	01.05.2013	W-ZF	55	136	19,7	1,62	30,1	10,1	31,94	37,81	37,00	38
2012/13	B	7	beerntet	19.09.2012	01.05.2013	W-ZF	55	89	19,8	1,62	30,1	10,1	32,13	37,99	37,19	38
2012/13	C	0	ohne ZF	19.09.2012	01.05.2013	W-ZF	0	0	20,4	1,62	30,1	10,1	33,09	40,39	40,46	38
2012/13	C	1	gemulcht	19.09.2012	01.05.2013	W-ZF	0	107	21,8	1,62	30,1	10,1	35,27	39,86	39,47	38
2012/13	C	2	beerntet	19.09.2012	01.05.2013	W-ZF	55	114	19,6	1,62	30,1	10,1	31,70	37,56	36,76	38
2012/13	C	3	beerntet	19.09.2012	01.05.2013	W-ZF	55	107	21,0	1,62	30,1	10,1	34,03	39,95	38,62	38
2012/13	C	4	beerntet	19.09.2012	01.05.2013	W-ZF	55	115	21,0	1,62	30,1	10,1	34,01	39,88	39,07	38
2012/13	C	5	beerntet	19.09.2012	01.05.2013	W-ZF	55	126	21,6	1,62	30,1	10,1	34,98	40,84	40,04	38
2012/13	C	6	beerntet	19.09.2012	01.05.2013	W-ZF	55	116	20,8	1,62	30,1	10,1	33,76	39,62	38,82	38
2012/13	C	7	beerntet	19.09.2012	01.05.2013	W-ZF	55	138	21,0	1,62	30,1	10,1	33,95	39,81	39,01	38
2013/14	A	0	ohne ZF	10.10.2013	28.04.2014	W-ZF	0	0	15,4	1,62	30,1	10,1	24,96	35,95	33,93	38
2013/14	A	1	gemulcht	10.10.2013	28.04.2014	W-ZF	0	86	17,3	1,62	30,1	10,1	28,04	32,86	21,30	38
2013/14	A	2	beerntet	10.10.2013	28.04.2014	W-ZF	104	97	15,9	1,62	30,1	10,1	25,81	33,49	20,83	38
2013/14	A	3	beerntet	10.10.2013	28.04.2014	W-ZF	104	86	15,7	1,62	30,1	10,1	25,42	32,76	18,34	38
2013/14	A	4	beerntet	10.10.2013	28.04.2014	W-ZF	104	96	15,8	1,62	30,1	10,1	25,67	33,35	20,69	38
2013/14	A	5	beerntet	10.10.2013	28.04.2014	W-ZF	104	110	16,9	1,62	30,1	10,1	27,44	35,12	22,46	38
2013/14	A	6	beerntet	10.10.2013	28.04.2014	W-ZF	104	116	16,2	1,62	30,1	10,1	26,23	33,91	21,25	38
2013/14	A	7	beerntet	10.10.2013	28.04.2014	W-ZF	104	79	16,8	1,62	30,1	10,1	27,20	34,88	22,23	38
2013/14	B	0	ohne ZF	10.10.2013	28.04.2014	W-ZF	0	0	14,9	1,62	30,1	10,1	24,17	35,17	33,14	38
2013/14	B	1	gemulcht	10.10.2013	28.04.2014	W-ZF	0	83	16,8	1,62	30,1	10,1	27,25	32,07	20,51	38
2013/14	B	2	beerntet	10.10.2013	28.04.2014	W-ZF	104	80	16,4	1,62	30,1	10,1	26,60	34,28	21,62	38
2013/14	B	3	beerntet	10.10.2013	28.04.2014	W-ZF	104	83	15,2	1,62	30,1	10,1	24,63	31,97	17,55	38
2013/14	B	4	beerntet	10.10.2013	28.04.2014	W-ZF	104	121	15,4	1,62	30,1	10,1	24,88	32,56	19,90	38
2013/14	B	5	beerntet	10.10.2013	28.04.2014	W-ZF	104	113	16,5	1,62	30,1	10,1	26,65	34,33	21,68	38
2013/14	B	6	beerntet	10.10.2013	28.04.2014	W-ZF	104	121	15,7	1,62	30,1	10,1	25,44	33,12	20,46	38
2013/14	B	7	beerntet	10.10.2013	28.04.2014	W-ZF	104	85	16,3	1,62	30,1	10,1	26,41	34,09	21,44	38
2013/14	C	0	ohne ZF	10.10.2013	28.04.2014	W-ZF	0	0	16,3	1,62	30,1	10,1	26,44	37,43	35,41	38
2013/14	C	1	gemulcht	10.10.2013	28.04.2014	W-ZF	0	84,5	18,2	1,62	30,1	10,1	29,52	34,34	22,77	

Tab. 45 Eingangsdaten zur Abschätzung der Lachgasemissionen Hasendorf bei Leibnitz Teil 1

Jahr	B.	v.	Nutzung ZF	Anbau	Ernte	ZF- Art	Dünger kg N/ha	N-Gehalt in Pflanze kg N/ha	Wasser-gehalt lt. N _{min}	Rd	Ton %	Sand %	Wasser-anteil lt. N _{min}	Wasseranteil lt. Modell (Vegetation)	Wasseranteil lt. Modell (Ernte)	Poren-anteil
2009/10	A	0	ohne ZF	13.09.2009	03.05.2010	W-ZF	0	0	14,2	1,54	11,3	37,0	21,90	36,25	34,51	42
2009/10	A	1	gemulcht	13.09.2009	03.05.2010	W-ZF	0	59,8	17,9	1,54	11,3	37,0	27,52	35,87	33,73	42
2009/10	A	2	beernet	13.09.2009	03.05.2010	W-ZF	37	78,7	14,7	1,54	11,3	37,0	22,69	35,85	33,09	42
2009/10	A	3	beernet	13.09.2009	03.05.2010	W-ZF	37	73,4	12,9	1,54	11,3	37,0	19,84	35,85	33,10	42
2009/10	A	4	beernet	13.09.2009	03.05.2010	W-ZF	0	59,8	13,3	1,54	11,3	37,0	20,51	33,66	30,90	42
2009/10	A	5	beernet	13.09.2009	03.05.2010	W-ZF	37	90,9	14,5	1,54	11,3	37,0	22,29	35,45	32,69	42
2009/10	A	6	beernet	13.09.2009	03.05.2010	W-ZF	37	76,6	12,5	1,54	11,3	37,0	19,25	32,40	29,64	42
2009/10	A	7	beernet	13.09.2009	03.05.2010	W-ZF	37	98,1	13,8	1,54	11,3	37,0	21,28	34,44	31,68	42
2009/10	A	8	beernet	13.09.2009	03.05.2010	W-ZF	37	40,7	14,1	1,54	11,3	37,0	21,75	34,91	32,15	42
2009/10	A	9	beernet	13.09.2009	03.05.2010	W-ZF	37	112,9	13,1	1,54	11,3	37,0	20,22	33,38	30,62	42
2009/10	B	0	ohne ZF	13.09.2009	03.05.2010	W-ZF	0	0,0	15,8	1,54	11,3	37,0	24,26	38,61	36,87	42
2009/10	B	1	gemulcht	13.09.2009	03.05.2010	W-ZF	0	54,7	19,4	1,54	11,3	37,0	29,87	38,23	36,09	42
2009/10	B	2	beernet	13.09.2009	03.05.2010	W-ZF	37	126,6	16,3	1,54	11,3	37,0	25,05	38,21	35,45	42
2009/10	B	3	beernet	13.09.2009	03.05.2010	W-ZF	37	111,6	14,4	1,54	11,3	37,0	22,20	38,21	35,45	42
2009/10	B	4	beernet	13.09.2009	03.05.2010	W-ZF	0	54,7	14,8	1,54	11,3	37,0	22,86	36,02	33,26	42
2009/10	B	5	beernet	13.09.2009	03.05.2010	W-ZF	37	108,2	16,0	1,54	11,3	37,0	24,65	37,81	35,05	42
2009/10	B	6	beernet	13.09.2009	03.05.2010	W-ZF	37	78,7	14,0	1,54	11,3	37,0	21,60	34,76	32,00	42
2009/10	B	7	beernet	13.09.2009	03.05.2010	W-ZF	37	111,9	15,3	1,54	11,3	37,0	23,64	36,80	34,03	42
2009/10	B	8	beernet	13.09.2009	03.05.2010	W-ZF	37	111,9	15,7	1,54	11,3	37,0	24,11	37,27	34,51	42
2009/10	B	9	beernet	13.09.2009	03.05.2010	W-ZF	37	135,9	14,7	1,54	11,3	37,0	22,58	35,74	32,98	42
2009/10	C	0	ohne ZF	13.09.2009	03.05.2010	W-ZF	0	0,0	11,9	1,54	11,3	37,0	18,39	32,74	31,00	42
2009/10	C	1	gemulcht	13.09.2009	03.05.2010	W-ZF	0	49,0	15,6	1,54	11,3	37,0	24,00	32,36	30,21	42
2009/10	C	2	beernet	13.09.2009	03.05.2010	W-ZF	37	63,1	12,5	1,54	11,3	37,0	19,18	32,33	29,57	42
2009/10	C	3	beernet	13.09.2009	03.05.2010	W-ZF	37	72,5	10,6	1,54	11,3	37,0	16,33	32,33	29,58	42
2009/10	C	4	beernet	13.09.2009	03.05.2010	W-ZF	0	49,0	11,0	1,54	11,3	37,0	16,99	30,15	27,39	42
2009/10	C	5	beernet	13.09.2009	03.05.2010	W-ZF	37	83,5	12,2	1,54	11,3	37,0	18,78	31,93	29,17	42
2009/10	C	6	beernet	13.09.2009	03.05.2010	W-ZF	37	81,7	10,2	1,54	11,3	37,0	15,73	28,89	26,13	42
2009/10	C	7	beernet	13.09.2009	03.05.2010	W-ZF	37	96,7	11,5	1,54	11,3	37,0	17,77	30,92	28,16	42
2009/10	C	8	beernet	13.09.2009	03.05.2010	W-ZF	37	48,6	11,8	1,54	11,3	37,0	18,24	31,40	28,64	42
2009/10	C	9	beernet	13.09.2009	03.05.2010	W-ZF	37	93,8	10,8	1,54	11,3	37,0	16,71	29,86	27,10	42
2010/11	A	0	ohne ZF	01.10.2010	01.05.2011	W-ZF	0	0,0	14,2	1,54	11,3	37,0	21,86	35,02	32,87	42
2010/11	A	1	gemulcht	01.10.2010	01.05.2011	W-ZF	0	47	13,0	1,54	11,3	37,0	19,94	34,19	27,55	42
2010/11	A	2	beernet	01.10.2010	01.05.2011	W-ZF	42	29,2	14,1	1,54	11,3	37,0	21,79	34,17	27,36	42
2010/11	A	3	beernet	01.10.2010	01.05.2011	W-ZF	42	42,6	12,4	1,54	11,3	37,0	19,15	34,17	27,37	42
2010/11	A	4	beernet	01.10.2010	01.05.2011	W-ZF	0	24	12,9	1,54	11,3	37,0	19,87	32,25	25,44	42
2010/11	A	5	beernet	01.10.2010	01.05.2011	W-ZF	42	38,2	10,6	1,54	11,3	37,0	16,30	28,69	21,88	42
2010/11	A	6	beernet	01.10.2010	01.05.2011	W-ZF	42	38,6	12,9	1,54	11,3	37,0	19,80	32,19	25,38	42
2010/11	A	7	beernet	01.10.2010	01.05.2011	W-ZF	42	48	12,1	1,54	11,3	37,0	18,64	31,03	24,21	42
2010/11	A	8	beernet	01.10.2010	01.05.2011	W-ZF	42	42	13,5	1,54	11,3	37,0	20,76	33,15	26,33	42
2010/11	A	9	beernet	01.10.2010	01.05.2011	W-ZF	42	51	12,3	1,54	11,3	37,0	18,92	31,31	24,50	42
2010/11	B	0	ohne ZF	01.10.2010	01.05.2011	W-ZF	0	0,0	16,2	1,54	11,3	37,0	24,97	38,12	35,98	42
2010/11	B	1	gemulcht	01.10.2010	01.05.2011	W-ZF	0	47,0	15,0	1,54	11,3	37,0	23,05	37,30	30,65	42
2010/11	B	2	beernet	01.10.2010	01.05.2011	W-ZF	42	52,7	16,2	1,54	11,3	37,0	24,89	37,28	30,47	42
2010/11	B	3	beernet	01.10.2010	01.05.2011	W-ZF	42	80,6	14,4	1,54	11,3	37,0	22,25	37,28	30,47	42
2010/11	B	4	beernet	01.10.2010	01.05.2011	W-ZF	0	23,7	14,9	1,54	11,3	37,0	22,97	35,36	28,55	42
2010/11	B	5	beernet	01.10.2010	01.05.2011	W-ZF	42	62,7	12,6	1,54	11,3	37,0	19,41	31,80	24,98	42
2010/11	B	6	beernet	01.10.2010	01.05.2011	W-ZF	42	56,6	14,9	1,54	11,3	37,0	22,91	35,29	28,48	42
2010/11	B	7	beernet	01.10.2010	01.05.2011	W-ZF	42	47,5	14,1	1,54	11,3	37,0	21,74	34,13	27,32	42
2010/11	B	8	beernet	01.10.2010	01.05.2011	W-ZF	42	41,9	15,5	1,54	11,3	37,0	23,87	36,25	29,44	42
2010/11	B	9	beernet	01.10.2010	01.05.2011	W-ZF	42	51,1	14,3	1,54	11,3	37,0	22,03	34,41	27,60	42
2010/11	C	0	ohne ZF	01.10.2010	01.05.2011	W-ZF	0	0,0	13,3	1,54	11,3	37,0	20,55	33,70	31,56	42
2010/11	C	1	gemulcht	01.10.2010	01.05.2011	W-ZF	0	47,0	12,1	1,54	11,3	37,0	18,63	32,88	26,23	42
2010/11	C	2	beernet	01.10.2010	01.05.2011	W-ZF	42	47,8	13,3	1,54	11,3	37,0	20,47	32,86	26,05	42
2010/11	C	3	beernet	01.10.2010	01.05.2011	W-ZF	42	62,4	11,6	1,54	11,3	37,0	17,83	32,86	26,05	42
2010/11	C	4	beernet	01.10.2010	01.05.2011	W-ZF	0	24	12,0	1,54	11,3	37,0	18,55	30,94	24,13	42
2010/11	C	5	beernet	01.10.2010	01.05.2011	W-ZF	42	51,5	9,7	1,54	11,3	37,0	14,99	27,38	20,56	42
2010/11	C	6	beernet	01.10.2010	01.05.2011	W-ZF	42	58,8	12,0	1,54	11,3	37,0	18,49	30,87	24,06	42
2010/11	C	7	beernet	01.10.2010	01.05.2011	W-ZF	42	48	11,2	1,54	11,3	37,0	17,32	29,71	22,90	42
2010/11	C	8	beernet	01.10.2010	01.05.2011	W-ZF	42	42	12,6	1,54	11,3	37,0	19,45	31,83	25,02	42
2010/11	C	9	beernet	01.10.2010	01.05.2011	W-ZF	42	51	11,4	1,54	11,3	37,0	17,61	29,99	23,18	42
2011/12	A	0	ohne ZF	23.09.2011	02.05.2012	W-ZF	0	0	15,4	1,54	11,3	37,0	23,70	35,83	36,74	42
2011/12	A	1	gemulcht	23.09.2011	02.05.2012	W-ZF	0	50,75	15,5	1,54	11,3	37,0	23,82	35,25	36,44	42
2011/12	A	2	beernet	23.09.2011	02.05.2012	W-ZF	57	94,9	12,9	1,54	11,3	37,0	19,89	34,13	31,50	42
2011/12	A	3	beernet	23.09.2011	02.05.2012	W-ZF	57	71,5	13,1	1,54	11,3	37,0	20,13	34,13	31,49	42
2011/12	A	4	beernet	23.09.2011	02.05.2012	W-ZF	0	51	10,9	1,54	11,3	37,0	16,78	31,02	28,39	42
2011/12	A	5	beernet	23.09.2011	02.05.2012	W-ZF	57	105,7	11,4	1,54	11,3	37,0	17,63	31,87	29,24	42
2011/12	A	6	beernet	23.09.2011	02.05.2012	W-ZF	57	88,4	10,6	1,54	11,3	37,0	16,39	30,64	28,00	42
2011/12	A	7	beernet	23.09.2011	02.05.2012	W-ZF	57	63	13,0	1,54	11,3	37,0	20,04	34,28	31,65	42
2011/12	A	8	beernet	23.09.2011	02.05.2012	W-ZF	57	84		1,54	11,3	37,0	0,00	kA	kA	42
2011/12	A	9	beernet	23.09.2011	02.05.2012	W-ZF	57	97		1,54	11,3	37,0	0,00	kA	kA	42
2011/12	B	0	ohne ZF	23.09.2011	02.05.2012	W-ZF	0	0	15,9	1,54	11,3	37,0	24,55	36,68	37,59	42
2011/12	B	1	gemulcht	23.09.2011	02.05.2012	W-ZF	0	66,7	16,0	1,54	11,3	37,0	24,66	36,10	37,29	42
2011/12	B	2	beernet	23.09.2011	02.05.2012	W-ZF	57	87,0	13,5	1,54	11,3	37,0	20,74	34,98	32,35	42
2011/12	B	3	beernet	23.09.2011	02.05.2012	W-ZF	57	81,7	13,6	1,54	11,3	37,0	20,98	34,98	32,34	42
2011/12	B	4</														

Tab. 46 Eingangsdaten zur Abschätzung der Lachgasemissionen Hasendorf Teil 2

Jahr	B.	V.	Nutzung ZF	Anbau	Ernte	ZF-Art	Dünger kg N/ha	N-Gehalt Pfl. kg N/ha	Wasser-gehalt N _{min}	Rd	Ton %	Sand %	Wasser-anteil N _{min}	Wasseranteil Modell (Vegetation)	Wasseranteil Modell (Ernte)	Poren-anteil
2011/12	B	7	beerntet	23.09.2011	02.05.2012	W-ZF	57	63,1	13,6	1,54	11,3	37,0	20,89	35,13	32,50	42
2011/12	B	8	beerntet	23.09.2011	02.05.2012	W-ZF	57	83,9		1,54	11,3	37,0	0,00	kA	kA	42
2011/12	B	9	beerntet	23.09.2011	02.05.2012	W-ZF	57	97,1		1,54	11,3	37,0	0,00	kA	kA	42
2011/12	C	0	ohne ZF	23.09.2011	02.05.2012	W-ZF	0	0	12,4	1,54	11,3	37,0	19,09	31,22	32,13	42
2011/12	C	1	gemulcht	23.09.2011	02.05.2012	W-ZF	0	34,8	12,5	1,54	11,3	37,0	19,20	30,64	31,83	42
2011/12	C	2	beerntet	23.09.2011	02.05.2012	W-ZF	57	71,9	9,9	1,54	11,3	37,0	15,28	29,52	26,89	42
2011/12	C	3	beerntet	23.09.2011	02.05.2012	W-ZF	57	56,8	10,1	1,54	11,3	37,0	15,52	29,51	26,88	42
2011/12	C	4	beerntet	23.09.2011	02.05.2012	W-ZF	0	34,8	7,9	1,54	11,3	37,0	12,17	26,41	23,78	42
2011/12	C	5	beerntet	23.09.2011	02.05.2012	W-ZF	57	93,7	8,5	1,54	11,3	37,0	13,02	27,26	24,63	42
2011/12	C	6	beerntet	23.09.2011	02.05.2012	W-ZF	57	97,8	7,7	1,54	11,3	37,0	11,78	26,02	23,39	42
2011/12	C	7	beerntet	23.09.2011	02.05.2012	W-ZF	57	63	10,0	1,54	11,3	37,0	15,43	29,67	27,04	42
2011/12	C	8	beerntet	23.09.2011	02.05.2012	W-ZF	57	84		1,54	11,3	37,0	0,00	kA	kA	42
2011/12	C	9	beerntet	23.09.2011	02.05.2012	W-ZF	57	97		1,54	11,3	37,0	0,00	kA	kA	42
2012/13	A	0	ohne ZF	21.09.2012	13.05.2013	W-ZF	0	0	15,5	1,54	11,3	37,0	23,84	36,53	34,68	42
2012/13	A	1	gemulcht	21.09.2012	13.05.2013	W-ZF	0	52	17,2	1,54	11,3	37,0	26,55	36,15	34,66	42
2012/13	A	2	beerntet	21.09.2012	13.05.2013	W-ZF	37	88	17,4	1,54	11,3	37,0	26,77	36,11	34,59	42
2012/13	A	3	beerntet	21.09.2012	13.05.2013	W-ZF	37	138	15,9	1,54	11,3	37,0	24,47	36,11	34,56	42
2012/13	A	4	beerntet	21.09.2012	13.05.2013	W-ZF	0	52	13,5	1,54	11,3	37,0	20,72	30,07	28,55	42
2012/13	A	5	beerntet	21.09.2012	13.05.2013	W-ZF	37	99	16,2	1,54	11,3	37,0	24,98	34,33	32,81	42
2012/13	A	6	beerntet	21.09.2012	13.05.2013	W-ZF	37	99	16,4	1,54	11,3	37,0	25,33	34,68	33,16	42
2012/13	A	7	beerntet	21.09.2012	13.05.2013	W-ZF	37	82	14,3	1,54	11,3	37,0	21,99	31,34	29,81	42
2012/13	A	8	beerntet	21.09.2012	13.05.2013	W-ZF	37	59		1,54	11,3	37,0	0,00	kA	kA	42
2012/13	A	9	beerntet	21.09.2012	13.05.2013	W-ZF	37	107		1,54	11,3	37,0	0,00	kA	kA	42
2012/13	B	0	ohne ZF	21.09.2012	13.05.2013	W-ZF	0	0	17,2	1,54	11,3	37,0	26,42	39,11	37,26	42
2012/13	B	1	gemulcht	21.09.2012	13.05.2013	W-ZF	0	87	18,9	1,54	11,3	37,0	29,13	38,73	37,23	42
2012/13	B	2	beerntet	21.09.2012	13.05.2013	W-ZF	37	110	19,1	1,54	11,3	37,0	29,34	38,69	37,17	42
2012/13	B	3	beerntet	21.09.2012	13.05.2013	W-ZF	37	151	17,6	1,54	11,3	37,0	27,05	38,69	37,14	42
2012/13	B	4	beerntet	21.09.2012	13.05.2013	W-ZF	0	87	15,1	1,54	11,3	37,0	23,30	32,65	31,13	42
2012/13	B	5	beerntet	21.09.2012	13.05.2013	W-ZF	37	116	17,9	1,54	11,3	37,0	27,56	36,91	35,39	42
2012/13	B	6	beerntet	21.09.2012	13.05.2013	W-ZF	37	96	18,1	1,54	11,3	37,0	27,91	37,26	35,74	42
2012/13	B	7	beerntet	21.09.2012	13.05.2013	W-ZF	37	109	16,0	1,54	11,3	37,0	24,57	33,91	32,39	42
2012/13	B	8	beerntet	21.09.2012	13.05.2013	W-ZF	37	100		1,54	11,3	37,0	0,00	kA	kA	42
2012/13	B	9	beerntet	21.09.2012	13.05.2013	W-ZF	37	120		1,54	11,3	37,0	0,00	kA	kA	42
2012/13	C	0	ohne ZF	21.09.2012	13.05.2013	W-ZF	0	0	14,0	1,54	11,3	37,0	21,59	34,28	32,43	42
2012/13	C	1	gemulcht	21.09.2012	13.05.2013	W-ZF	0	38	15,8	1,54	11,3	37,0	24,30	33,90	32,41	42
2012/13	C	2	beerntet	21.09.2012	13.05.2013	W-ZF	37	105	15,9	1,54	11,3	37,0	24,52	33,86	32,34	42
2012/13	C	3	beerntet	21.09.2012	13.05.2013	W-ZF	37	124	14,4	1,54	11,3	37,0	22,22	33,86	32,31	42
2012/13	C	4	beerntet	21.09.2012	13.05.2013	W-ZF	0	38	12,0	1,54	11,3	37,0	18,47	27,82	26,30	42
2012/13	C	5	beerntet	21.09.2012	13.05.2013	W-ZF	37	97	14,8	1,54	11,3	37,0	22,73	32,08	30,56	42
2012/13	C	6	beerntet	21.09.2012	13.05.2013	W-ZF	37	82	15,0	1,54	11,3	37,0	23,08	32,43	30,91	42
2012/13	C	7	beerntet	21.09.2012	13.05.2013	W-ZF	37	103	12,8	1,54	11,3	37,0	19,74	29,09	27,56	42
2012/13	C	8	beerntet	21.09.2012	13.05.2013	W-ZF	37	82		1,54	11,3	37,0	0,00	kA	kA	42
2012/13	C	9	beerntet	21.09.2012	13.05.2013	W-ZF	37	124		1,54	11,3	37,0	0,00	kA	kA	42
2013/14	A	0	ohne ZF	04.10.2013	08.05.2014	W-ZF	0	0	14,5	1,54	11,3	37,0	22,27	34,48	30,44	42
2013/14	A	1	gemulcht	04.10.2013	08.05.2014	W-ZF	0	48	17,7	1,54	11,3	37,0	27,22	33,34	22,52	42
2013/14	A	2	beerntet	04.10.2013	08.05.2014	W-ZF	37	69	15,2	1,54	11,3	37,0	23,35	33,34	22,52	42
2013/14	A	3	beerntet	04.10.2013	08.05.2014	W-ZF	37	52	14,9	1,54	11,3	37,0	22,94	33,34	22,52	42
2013/14	A	4	beerntet	04.10.2013	08.05.2014	W-ZF	0	34	14,6	1,54	11,3	37,0	22,45	32,44	21,63	42
2013/14	A	5	beerntet	04.10.2013	08.05.2014	W-ZF	37	68	14,0	1,54	11,3	37,0	21,54	31,53	20,71	42
2013/14	A	6	beerntet	04.10.2013	08.05.2014	W-ZF	37	49	14,3	1,54	11,3	37,0	21,99	31,98	21,16	42
2013/14	A	7	beerntet	04.10.2013	08.05.2014	W-ZF	37	51	13,7	1,54	11,3	37,0	21,15	31,14	20,32	42
2013/14	A	8	beerntet	04.10.2013	08.05.2014	W-ZF	37	50		1,54	11,3	37,0	0,00	kA	kA	42
2013/14	A	9	beerntet	04.10.2013	08.05.2014	W-ZF	37	69		1,54	11,3	37,0	0,00	kA	kA	42
2013/14	B	0	ohne ZF	04.10.2013	08.05.2014	W-ZF	0	0	16,6	1,54	11,3	37,0	25,52	37,73	33,69	42
2013/14	B	1	gemulcht	04.10.2013	08.05.2014	W-ZF	0	58	19,8	1,54	11,3	37,0	30,47	36,58	25,77	42
2013/14	B	2	beerntet	04.10.2013	08.05.2014	W-ZF	37	66	17,3	1,54	11,3	37,0	26,59	36,58	25,77	42
2013/14	B	3	beerntet	04.10.2013	08.05.2014	W-ZF	37	76	17,0	1,54	11,3	37,0	26,19	36,58	25,77	42
2013/14	B	4	beerntet	04.10.2013	08.05.2014	W-ZF	0	39	16,7	1,54	11,3	37,0	25,70	35,69	24,87	42
2013/14	B	5	beerntet	04.10.2013	08.05.2014	W-ZF	37	65	16,1	1,54	11,3	37,0	24,78	34,77	23,95	42
2013/14	B	6	beerntet	04.10.2013	08.05.2014	W-ZF	37	57	16,4	1,54	11,3	37,0	25,24	35,23	24,41	42
2013/14	B	7	beerntet	04.10.2013	08.05.2014	W-ZF	37	81	15,8	1,54	11,3	37,0	24,40	34,39	23,57	42
2013/14	B	8	beerntet	04.10.2013	08.05.2014	W-ZF	37	81		1,54	11,3	37,0	0,00	kA	kA	42
2013/14	B	9	beerntet	04.10.2013	08.05.2014	W-ZF	37	90		1,54	11,3	37,0	0,00	kA	kA	42
2013/14	C	0	ohne ZF	04.10.2013	08.05.2014	W-ZF	0	0	11,1	1,54	11,3	37,0	17,04	29,25	25,21	42
2013/14	C	1	gemulcht	04.10.2013	08.05.2014	W-ZF	0	23	14,3	1,54	11,3	37,0	22,00	28,11	17,29	42
2013/14	C	2	beerntet	04.10.2013	08.05.2014	W-ZF	37	45	11,8	1,54	11,3	37,0	18,12	28,11	17,29	42
2013/14	C	3	beerntet	04.10.2013	08.05.2014	W-ZF	37	61	11,5	1,54	11,3	37,0	17,72	28,11	17,29	42
2013/14	C	4	beerntet	04.10.2013	08.05.2014	W-ZF	0	28	11,2	1,54	11,3	37,0	17,23	27,22	16,40	42
2013/14	C	5	beerntet	04.10.2013	08.05.2014	W-ZF	37	55	10,6	1,54	11,3	37,0	16,31	26,30	15,48	42
2013/14	C	6	beerntet	04.10.2013	08.05.2014	W-ZF	37	49	10,9	1,54	11,3	37,0	16,77	26,76	15,94	42
2013/14	C	7	beerntet	04.10.2013	08.05.2014	W-ZF	37	53	10,3	1,54	11,3	37,0	15,92	25,91	15,09	42
2013/14	C	8	beerntet	04.10.2013	08.05.2014	W-ZF	37	42		1,54	11,3	37,0	0,00	kA	kA	42
2013/14	C	9	beerntet	04.10.2013	08.05.2014	W-ZF	37	57		1,54	11,3	37,0	0,00	kA	kA	42
	B	0	ohne ZF	20.07.2010	11.10.2010	S-ZF	0	0,0		1,54	11,3	37,0	0,00	33,46	20,47	43
	B	1	gemulcht	20.07.2010	11.10.2010	S-ZF	0	23,6		1,54	11,3	37,0	0,00		20,47	43
	B	2	beerntet	20.07.2010	11.10.2010	S-ZF	37	25,8		1,54	11,3	37,0	0,00		20,47	43

Tab. 47 Eingangsdaten zur Abschätzung der Lachgasemissionen Rohrau, Schönabrunn, Ottstorf bei Thalheim/Wels

Standort	Jahr	B.	V.	Nutzung ZF	Anbau	Ernte	ZF-Art	Dünger kg N/ha	N-Gehalt Pfl. kg N/ha	Wasserge- halt N _{min}	Rd	Ton %	Sand %	Wasseran- teil lt. N _{min}	Wasseranteil Modell (Veg.)	Wasseranteil Modell (Ernte)	Poren anteil
Rohrau	2011/12	A	0	ohne ZF	18.07.2011	27.11.2011	S-ZF	0	0	15,1	1,5	24,0	19,0	22,61	22,61	43,08	43
Rohrau	2011/12	A	1	gemulcht	18.07.2011	27.11.2011	S-ZF	0	41,529	15,6	1,5	24,0	19,0	23,46	23,46	43,92	43
Rohrau	2011/12	A	2	beerntet	18.07.2011	27.11.2011	S-ZF	70	43,788	15,6	1,5	24,0	19,0	23,38	21,14	43,85	43
Rohrau	2011/12	B	2	beerntet	18.07.2011	27.11.2011	S-ZF	70	43,788	15,9	1,5	24,0	19,0	23,91	23,91	44,38	43
Rohrau	2011/12	B	0	ohne ZF	18.07.2011	27.11.2011	S-ZF	0	0	15,4	1,5	24,0	19,0	23,15	23,15	43,61	43
Rohrau	2011/12	B	1	gemulcht	18.07.2011	27.11.2011	S-ZF	0	41,529	16,0	1,5	24,0	19,0	23,99	23,99	44,46	43
Rohrau	2011/12	C	0	ohne ZF	18.07.2011	27.11.2011	S-ZF	0	0	15,3	1,5	24,0	19,0	22,93	22,93	26,11	43
Rohrau	2011/12	C	1	gemulcht	18.07.2011	27.11.2011	S-ZF	0	41,529	15,8	1,5	24,0	19,0	23,77	23,77	26,96	43
Rohrau	2011/12	C	2	beerntet	18.07.2011	27.11.2011	S-ZF	70	43,788	15,8	1,5	24,0	19,0	23,70	23,70	26,88	43
Rohrau	2012/13	A	0	ohne ZF	01.10.2012	10.05.2013	W-ZF	0	0	15,0	1,5	24,0	19,0	22,53	22,53	25,71	43
Rohrau	2012/13	A	1	gemulcht	01.10.2012	18.04.2013	W-ZF	0	90,5	15,6	1,5	24,0	19,0	23,35	23,35	26,53	43
Rohrau	2012/13	A	2	beerntet	01.10.2012	10.05.2013	W-ZF	68	90,5	12,6	1,5	24,0	19,0	18,93	31,04	22,11	43
Rohrau	2012/13	B	2	beerntet	01.10.2012	10.05.2013	W-ZF	68	90,5	13,0	1,5	24,0	19,0	19,53	19,53	22,71	43
Rohrau	2012/13	B	0	ohne ZF	01.10.2012	10.05.2013	W-ZF	0	0	15,4	1,5	24,0	19,0	23,13	23,13	26,31	43
Rohrau	2012/13	B	1	gemulcht	01.10.2012	18.04.2013	W-ZF	0	90,5	16,0	1,5	24,0	19,0	23,94	23,94	27,13	43
Rohrau	2012/13	C	0	ohne ZF	01.10.2012	10.05.2013	W-ZF	0	0	14,2	1,5	24,0	19,0	21,25	21,25	kA	43
Rohrau	2012/13	C	1	gemulcht	01.10.2012	18.04.2013	W-ZF	0	90,5	14,7	1,5	24,0	19,0	22,07	22,07	kA	43
Rohrau	2012/13	C	2	beerntet	01.10.2012	10.05.2013	W-ZF	68	90,5	11,8	1,5	24,0	19,0	17,65	17,65	kA	43
Schönabr.	2011/12	A	2	beerntet	18.07.2011	27.11.2011	S-ZF	70	26,892	12,0	1,5	25,0	38,0	18,04	16,87	33,89	43
Schönabr.	2011/12	A	0	ohne ZF	18.07.2011	27.11.2011	S-ZF	0	0	12,0	1,5	25,0	38,0	18,00	kA	33,85	43
Schönabr.	2011/12	A	1	gemulcht	18.07.2011	27.11.2011	S-ZF	0	27,018	12,3	1,5	25,0	38,0	18,51	kA	34,36	43
Schönabr.	2011/12	B	0	ohne ZF	18.07.2011	27.11.2011	S-ZF	0	0	11,9	1,5	25,0	38,0	17,86	kA	33,71	43
Schönabr.	2011/12	B	1	gemulcht	18.07.2011	27.11.2011	S-ZF	0	27,018	12,2	1,5	25,0	38,0	18,36	kA	34,21	43
Schönabr.	2011/12	B	2	beerntet	18.07.2011	27.11.2011	S-ZF	70	26,892	12,1	1,5	25,0	38,0	18,18	kA	34,03	43
Schönabr.	2011/12	C	2	beerntet	18.07.2011	27.11.2011	S-ZF	70	26,892	11,3	1,5	25,0	38,0	16,90	kA	17,91	43
Schönabr.	2011/12	C	0	ohne ZF	18.07.2011	27.11.2011	S-ZF	0	0	11,0	1,5	25,0	38,0	16,57	kA	17,59	43
Schönabr.	2011/12	C	1	gemulcht	18.07.2011	27.11.2011	S-ZF	0	27,018	11,4	1,5	25,0	38,0	17,07	kA	18,09	43
Schönabr.	2012/13	A	2	beerntet	01.10.2012	10.05.2013	W-ZF	67	76,4	8,5	1,5	25,0	38,0	12,70	24,52	13,72	43
Schönabr.	2012/13	A	0	ohne ZF	01.10.2012	10.05.2013	W-ZF	0	0	10,3	1,5	25,0	38,0	15,48	kA	16,50	43
Schönabr.	2012/13	A	1	gemulcht	01.10.2012	18.04.2013	W-ZF	0	76,4	10,2	1,5	25,0	38,0	15,27	kA	16,28	43
Schönabr.	2012/13	B	0	ohne ZF	01.10.2012	10.05.2013	W-ZF	0	0	11,4	1,5	25,0	38,0	17,07	kA	18,08	43
Schönabr.	2012/13	B	1	gemulcht	01.10.2012	18.04.2013	W-ZF	0	76,4	11,2	1,5	25,0	38,0	16,85	kA	17,87	43
Schönabr.	2012/13	B	2	beerntet	01.10.2012	10.05.2013	W-ZF	67	76,4	7,4	1,5	25,0	38,0	11,12	kA	12,14	43
Schönabr.	2012/13	C	2	beerntet	01.10.2012	10.05.2013	W-ZF	67	76,4	9,4	1,5	25,0	38,0	14,06	kA	kA	43
Schönabr.	2012/13	C	0	ohne ZF	01.10.2012	10.05.2013	W-ZF	0	0	13,3	1,5	25,0	38,0	20,01	kA	kA	43
Schönabr.	2012/13	C	1	gemulcht	01.10.2012	18.04.2013	W-ZF	0	76,4	13,2	1,5	25,0	38,0	19,79	kA	kA	43
Thalheim	2009	A	0	ohne ZF	23.07.2009	15.10.2009	S-ZF	0	0	22,7	1,54	24,2	6,7	34,93	38,75	40,54	41
Thalheim	2009	A	1	gemulcht	23.07.2009	15.10.2009	S-ZF	0	83,7	21,0	1,54	24,2	6,7	32,36	37,35	40,52	41
Thalheim	2009	A	2	beerntet	23.07.2009	15.10.2009	S-ZF	0	85,4	21,3	1,54	24,2	6,7	32,80	37,35	40,52	41
Thalheim	2009	A	3	beerntet	23.07.2009	15.10.2009	S-ZF	0	56,8	21,2	1,54	24,2	6,7	32,69	37,35	40,52	41
Thalheim	2009	A	4	beerntet	23.07.2009	15.10.2009	S-ZF	0	97,6	21,1	1,54	24,2	6,7	32,43	36,98	40,15	41
Thalheim	2009	A	5	beerntet	23.07.2009	15.10.2009	S-ZF	0	66,1	19,5	1,54	24,2	6,7	30,03	34,58	37,75	41
Thalheim	2009	A	6	beerntet	23.07.2009	15.10.2009	S-ZF	0	124,5	20,0	1,54	24,2	6,7	30,75	35,30	38,47	41
Thalheim	2009	A	7	beerntet	23.07.2009	15.10.2009	S-ZF	0	56,8	20,9	1,54	24,2	6,7	32,20	36,75	39,92	41
Thalheim	2009	B	0	ohne ZF	23.07.2009	15.10.2009	S-ZF	0	0	22,8	1,54	24,2	6,7	35,08	38,91	40,69	41
Thalheim	2009	B	1	gemulcht	23.07.2009	15.10.2009	S-ZF	0	70,2	21,1	1,54	24,2	6,7	32,51	37,50	40,67	41
Thalheim	2009	B	2	beerntet	23.07.2009	15.10.2009	S-ZF	0	69,9	21,4	1,54	24,2	6,7	32,96	37,50	40,67	41
Thalheim	2009	B	3	beerntet	23.07.2009	15.10.2009	S-ZF	0	85,6	21,3	1,54	24,2	6,7	32,85	37,50	40,68	41
Thalheim	2009	B	4	beerntet	23.07.2009	15.10.2009	S-ZF	0	80,2	21,2	1,54	24,2	6,7	32,59	37,13	40,30	41
Thalheim	2009	B	5	beerntet	23.07.2009	15.10.2009	S-ZF	0	46,5	19,6	1,54	24,2	6,7	30,18	34,73	37,90	41
Thalheim	2009	B	6	beerntet	23.07.2009	15.10.2009	S-ZF	0	90,3	20,1	1,54	24,2	6,7	30,91	35,45	38,63	41
Thalheim	2009	B	7	beerntet	23.07.2009	15.10.2009	S-ZF	0	62,9	21,0	1,54	24,2	6,7	32,36	36,90	40,07	41
Thalheim	2009	C	0	ohne ZF	23.07.2009	15.10.2009	S-ZF	0	0	21,9	1,54	24,2	6,7	33,79	37,61	39,40	41
Thalheim	2009	C	1	gemulcht	23.07.2009	15.10.2009	S-ZF	0	55,2	20,3	1,54	24,2	6,7	31,22	36,21	39,38	41
Thalheim	2009	C	2	beerntet	23.07.2009	15.10.2009	S-ZF	0	90,4	20,6	1,54	24,2	6,7	31,66	36,21	39,38	41
Thalheim	2009	C	3	beerntet	23.07.2009	15.10.2009	S-ZF	0	51,6	20,5	1,54	24,2	6,7	31,55	36,21	39,38	41
Thalheim	2009	C	4	beerntet	23.07.2009	15.10.2009	S-ZF	0	67,4	20,3	1,54	24,2	6,7	31,29	35,84	39,01	41
Thalheim	2009	C	5	beerntet	23.07.2009	15.10.2009	S-ZF	0	71,8	18,8	1,54	24,2	6,7	28,89	33,44	36,61	41
Thalheim	2009	C	6	beerntet	23.07.2009	15.10.2009	S-ZF	0	72,9	19,2	1,54	24,2	6,7	29,61	34,16	37,33	41
Thalheim	2009	C	7	beerntet	23.07.2009	15.10.2009	S-ZF	0	59,8	20,2	1,54	24,2	6,7	31,06	35,61	38,78	41
Thalheim	2008/09	0	0	ohne ZF	30.09.2008	04.05.2009	W-ZF	0	0	0	1,54	24,2	6,7	0	39,72	37,61	41
Thalheim	2008/09	1	1	gemulcht	30.09.2008	04.05.2009	W-ZF	0	47	0	1,54	24,2	6,7	0	39,52	32,29	41
Thalheim	2008/09	2	2	beerntet	30.09.2008	04.05.2009	W-ZF	90	120	0	1,54	24,2	6,7	0	39,91	30,06	41
Thalheim	2009/10	0	0	ohne ZF	15.09.2009	25.04.2010	W-ZF	0	0	0	1,54	24,2	6,7	0	39,85	38,79	41
Thalheim	2009/10	1	1	gemulcht	15.09.2009	25.04.2010	W-ZF	0	60	0	1,54	24,2	6,7	0	39,58	37,58	41
Thalheim	2009/10	2	2	beerntet	15.09.2009	25.04.2010	W-ZF	90	77	0	1,54	24,2	6,7	0	40,05	37,58	41
Thalheim	2010/11	0	0	ohne ZF	01.10.2010	05.05.2011	W-ZF	0	0	0	1,54	24,2	6,7	0	39,37	38,37	41
Thalheim	2010/11	1	1	gemulcht	01.10.2010	05.05.2011	W-ZF	0	60	0	1,54	24,2	6,7	0	39,34	35,07	41
Thalheim	2010/11	2	2	beerntet	01.10.2010	05.05.2011	W-ZF	112	74	0	1,54	24,2	6,7	0	39,49	32,37	41
Thalheim	2011/12	0	0	ohne ZF	21.09.2011	25.04.2012	W-ZF	0	0	0	1,54	24,2	6,7	0	38,65	36,65	41
Thalheim	2011/12	1	1	gemulcht	21.09.2011	25.04.2012	W-ZF	0	52	0	1,54	24,2	6,7	0	37,70	28,57	41
Thalheim	2011/12	2	2	beerntet	21.09.2011	25.04.2012	W-ZF	90	119	0	1,54	24,2	6,7	0	38,56	27,70	41
Thalheim	2012/13	0	0	ohne ZF	01.10.2012	30.04.2013	W-ZF</										

Ergebnisse der Lachgasberechnung:

Tab. 48 Modellerte Lachgasemissionen während der Zwischenfrucht-Periode in kg N₂O/ha und Jahr

	leichter Boden; 927 mm NS	mittlerer Boden; 750 mm NS	schwerer Boden; 710 mm NS	Mittel
Sommer-ZF				
ohne ZF - Schwarzbrache	0,9	1,4	2,1	1,5
S-ZF zur Gründüngung (2,5 t/ha)	1,1	2,5	4,1	2,5
S-ZF für Biogas (2,5; 4,5; 6 t/ha)	1,0	0,6	3,8	1,8
Winterweizen	1,5	3,4	3,5	2,8
Winter-ZF				
ohne ZF - Schwarzbrache	1,0	1,3	2,0	1,4
W-ZF zur Gründüngung (2,5 t/ha)	0,9	1,7	3,2	2,0
W-ZF für Biogas (2,5; 4,5; 6 t/ha)	0,3	1,4	2,9	1,5
Silomais	1,2	3,5	4,2	3,0
Mittel Sommer- u. Winter-ZF				
ohne ZF - Schwarzbrache	1,0	1,3	2,0	1,4
ZF zur Gründüngung (2,5 t/ha)	1,0	2,1	3,7	2,3
ZF für Biogas (2,5; 4,5; 6 t/ha)	0,7	1,0	3,3	1,7
Winterweizen - Silomais	1,4	3,5	3,9	2,9

15.4.5 Erosionsberechnung

Bodenbedeckungsgrad

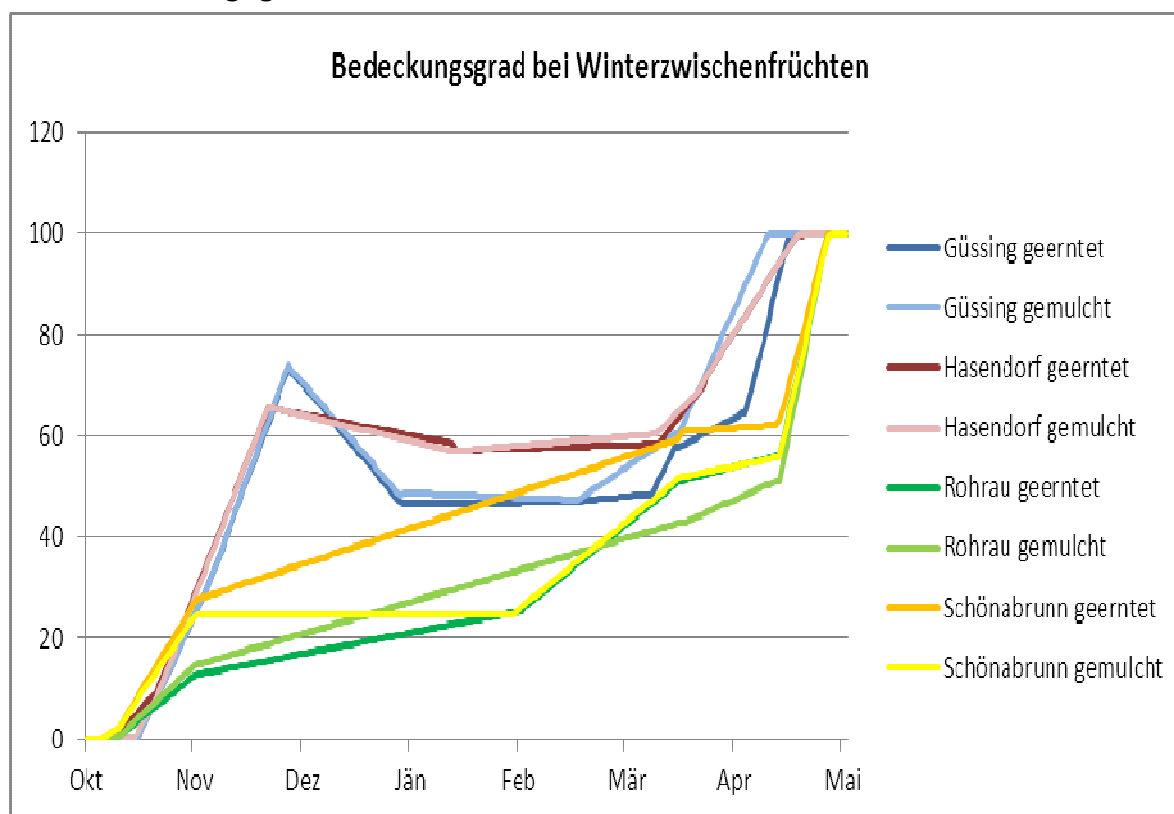


Abb. 57 Ermittelter Bedeckungsgradverlauf bei Winterzwischenfrüchten auf den Versuchsstandorten

Für die Berechnung der Erosion wurde vorerst der Bodenbedeckungsgrad bei W-ZF mittels Fotos und anschließender Auswertung der Farbwerte, woraus auf die Bedeckung geschlossen werden kann, ermittelt. Es hat sich gezeigt, dass die Bedeckung nicht kontinuierlich während der Vegetationsperiode zunimmt, sondern, dass im Winter (Jänner, Februar) aufgrund der negativen Einflüsse der niedrigen Temperaturen auf die Vegetation ein leichter Rückgang zu beobachten ist, wenn davor ein Bedeckungsgrad von über 60% erreicht wird. Von Rohrau und Schönabrunn liegt für Dezember keine Dokumentation vor. Deshalb ist die Grafik diesbezüglich für diese Standorte mit Vorbehalt zu interpretieren. Ein Unterschied zwischen Winterzwischenfrüchten die für die Beerntung gedacht sind, und jenen die im Frühjahr gemulcht werden sollen, ist nicht auf allen Standorten gegeben. Einzig in Schönabrunn (trockenes pannonisches Klima, leichter Boden) liegt die beerntete Variante im Frühjahr über den Werten der gemulchten Variante. Jedenfalls wird im Laufe des Aprils sowohl mit als auch ohne Düngergabe eine 100%ige Bodenbedeckung erreicht.

Fruchtfolgen, Bearbeitungstermine, Bodenabtrag

Tab. 49 Bodenbearbeitungs-, Saat- u. Erntetermine von S-ZF u. Winterweizen für die Erosionsberechnung mit BoBB

Datum	ohne S-ZF	S-ZF gemulcht	S-ZF beerntet, Pflug zur Hauptfrucht	S-ZF beerntet pfluglos	
21.07.	Stoppeln	Stoppeln	Grubber		
22.07.			Saat S-ZF		
29.07.		Grubber	S-ZF	S-ZF	
30.07.		Saat S-ZF			
16.9.	Pflug	S-ZF	Ernte S-ZF		
15.10.	Schwarzbrache				
16.10.	Kreiselegge	Pflug		Grubber	
17.10.	Schwarzbrache	Kreiselegge		Schwarzbrache	
18.10.	Saat Winterweizen				
20.07.	Ernte Winterweizen				

Tab. 50 Bodenbearbeitungs-, Saat- und Erntetermine von W-ZF und Mais für die Erosionsberechnung mit BoBB

	ohne W-ZF	W-ZF 2,5 t gemulcht	W-ZF (2,5 t/ha) beerntet, Pflug	W-ZF (2,5 t) beerntet, pfluglos	W-ZF (4,5; 6 t/ha) beerntet, Pflug	W-ZF (4,5; 6 t/ha) beerntet, pfluglos		
04.10.	Stoppeln	Stoppeln	Pflug	Stoppeln	Pflug	Stoppeln		
05.10.		Pflug	Kreiselegge	Grubber	Kreiselegge	Grubber		
06.10.		Schwarzbrache	Saat W-ZF					
9.10.		Saat ZWF	W-ZF	W-ZF	W-ZF	W-ZF		
10.10.	Pflug	W-ZF						
10.04.	Schwarzbrache	Grubber	Ernte W-ZF					
15.04.	Kreiselegge	Schwarzbrache					Grubber	
24.04.	Schwarzbrache							
25.04.								
26.04.	Saat Mais							
01.05.	Mais	Mais	Mais	Mais	Ernte W-ZF			
02.05.					Grubber			
03.05.					Saat Mais			
30.09.	Ernte Mais							

Tab. 51 jährliche Erosion bei Winterweizen ohne S-ZF und Pflug, mit S-ZF zur Gründüngung und Pflug sowie S-ZF beerntet für Biogas mit und ohne Pflug und Silomais ohne W-ZF und Pflug, mit W-ZF zur Gründüngung und Pflug sowie W-ZF beerntet für Biogas mit und ohne Pflug in t/ha und Jahr bei einer durchschnittlichen Hangneigung von 3%, einer Hanglänge von 100m und einer Schlaggröße von 1ha.

	leichter Boden (Ton 13%, Schluff <40%)	mittlerer Boden (Ton 25%, Schluff <60%)	schwerer Boden (Ton 30%, Schluff >60%)	Durchschnitt	Reduktion im Vergleich zur Schwarzbrache
Sommer-ZF - Winterweizen					
ohne S-ZF mit Pflug	0,8	1,5	1,6	1,3	
S-ZF zur Gründüngung mit Pflug (2,5 t/ha)	0,6	1,1	1,2	1,0	26%
S-ZF für Biogas mit Pflug (2,5; 4,5; 6 t/ha)	0,6	1,1	1,2	1,0	26%
S-ZF für Biogas pfluglos (2,5; 4,5; 6 t/ha)	0,3	0,4	0,5	0,4	69%
Winter-ZF - Silomais					
ohne W-ZF mit Pflug	2,3	4,3	4,5	3,7	
W-ZF (2,5 t/ha) zur Gründüngung mit Pflug	0,9	1,7	1,8	1,5	60%
W-ZF (2,5 t/ha) für Biogas mit Pflug	1,3	2,3	2,5	2,0	45%
W-ZF (4,5 t/ha) für Biogas mit Pflug	1,0	1,8	1,9	1,6	58%
W-ZF (6,0 t/ha) für Biogas mit Pflug	0,8	1,5	1,6	1,3	65%
W-ZF (2,5 t/ha) für Biogas pfluglos	0,7	1,2	1,3	1,1	71%
W-ZF (4,5t/ha) für Biogas pfluglos	0,5	1,0	1,0	0,8	77%
W-ZF (6,0 t/ha) für Biogas pfluglos	0,4	0,8	0,8	0,7	82%
Durchschnitt W-ZF – S-ZF					
ohne ZF mit Pflug	1,6	2,9	3,1	2,5	
ZF (2,5 t/ha) zur Gründüngung mit Pflug	0,8	1,4	1,5	1,3	48%
ZF (2,5 t/ha) für Biogas mit Pflug	1	1,7	1,9	1,5	40%
ZF (4,5 t/ha) für Biogas mit Pflug	0,8	1,5	1,6	1,3	48%
ZF (6,0 t/ha) für Biogas mit Pflug	0,7	1,3	1,4	1,2	52%
ZF (2,5 t/ha) für Biogas pfluglos	0,5	0,8	0,9	0,8	68%
ZF (4,5t/ha) für Biogas pfluglos	0,4	0,7	0,8	0,6	76%
ZF (6,0 t/ha) für Biogas pfluglos	0,4	0,6	0,7	0,6	76%

15.5 Energiebilanzen und ökologischer Fußabdruck

15.5.1 Energiebilanzen

Für den Treibstoffbedarf im Ackerbau wurden Zahlen der Leistungs-Kostenrechnung Pflanzenbau 2014 des KTBL (Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft <http://daten.ktbl.de/dslkrpflanze/postHv.html#Auswahl>) verwendet. Angaben zum Energieverbrauch von Biogasanlagen wurden den Messdaten 2009, der Broschüre Biomethan und den Basisdaten Bioenergie der FNR (Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe) entnommen. In Tab. 52 sind die Energiebilanzen für verschiedene ZF-Erträge dargestellt. Wegen der großen Unterschiede im Energiebedarf zwischen Anbauverfahren mit und ohne Pflug sowie zwischen unterschiedlichen Verfahren der Biogasaufbereitung wurden die Bilanzen und der EROI für minimalen und maximalen Eigenenergiebedarf ermittelt.

Tab. 52 EROI, Brutto- und Nettoenergieertrag von ZF pro ha

ZF-TM- Ertrag pro ha	Brutto- Energie- ertrag pro ha	Eigenenergiebedarf (Input) für						Summe Eigen- energiebedarf pro m³ CH₄		Verhältnis Brutto- energieertrag / Eigen- energiebedarf; ERO(E) (Energy Return On Energy Invested)		NettoEnergie- ertrag pro ha	
		Anbau, Pflanzenschutz, Gülleausbringung, Ernte, Transport, Silieren		Bio- gas- anlage	Biogas- aufbereitung		Ver- dichtung (250 bar)						
		min: pfluglos, optimiert	max: Pflug, konv.		min	max							
	t TS / ha	m³ CH₄ / ha	kWh / m³ CH₄						ERO(E)		m³ CH₄ / ha		
1	280	1,39	1,85	0,5	0,3	0,5	0,4	2,59	3,25	3,85	3,07	207	189
1,5	420	0,93	1,24	0,5	0,3	0,5	0,4	2,13	2,64	4,68	3,78	330	309
2	560	0,70	0,93	0,5	0,3	0,5	0,4	1,90	2,33	5,25	4,28	450	430
2,5	700	0,56	0,76	0,5	0,3	0,5	0,4	1,76	2,16	5,66	4,62	580	550
3,5	980	0,41	0,57	0,5	0,3	0,5	0,4	1,61	1,97	6,19	5,06	820	790
4,5	1260	0,33	0,48	0,5	0,3	0,5	0,4	1,53	1,88	6,52	5,30	1070	1020
6	1680	0,27	0,40	0,5	0,3	0,5	0,4	1,47	1,80	6,78	5,54	1430	1380
7	1960	0,25	0,38	0,5	0,3	0,5	0,4	1,45	1,78	6,88	5,60	1680	1610

Quellen: KTBL, FNR 2009 u. 2014, IFEU 2008

Aus Sicht der Energieeffizienz lohnt es sich mit Grünlandtechnik auch schwach entwickelte Bestände zu beernten. Bei 2,0 t TS/ha beträgt der EROI immer noch 4,8 und es verbleiben 79 % bzw. 440 Nm³ CH₄/ha. Auch bei 1,0 t TS/ha wäre die Energiebilanz immer noch positiv und es würden 70 % an Nettoenergie verbleiben bzw. der EROI würde 3,5 betragen. Bei niedrigen Erträgen kann die Entscheidung über die Erntewürdigkeit von Beständen deshalb von betriebswirtschaftlichen oder anderen Überlegungen abhängig gemacht werden. In Tab. 53 wird die Summe des Treibstoffbedarfs von Hauptkultur und Zwischenfrucht mit dem Methanertrag von ZF pro ha (abzüglich des durchschnittlichen Energiebedarfs von Biogasanlage, Biogasaufbereitung und Verdichtung zur Treibstoffnutzung) verglichen.

Tab. 53 Vergleich des Treibstoffbedarfs für Anbau, Düngung, Pflanzenschutz, Ernte und Transport von ZF und Hauptkultur (Mittelwert aus Silomais und Weizen) mit dem Energieertrag von ZF abzüglich Energiebedarf für Biogasanlage (BGA), Biogasaufbereitung und Verdichtung (1m³ CH₄ = 1l Diesel = 9,972 kWh)

	Treibstoffbedarf ZF o. Mais (M.), Weizen (W.)		Treibstoffbedarf ZF + Mais o. Weizen		Energiebedarf BGA, Aufbereitung, Verdichtung (1,3 kWh/m³ CH₄)	Brutto CH₄-Ertrag / ha	CH₄-Ertrag / ha abzügl. BGA, A. Verdicht.	Anteil Energiebedarf M./W. + ZF am CH₄-Ertrag ohne BGA	
	min: pfluglos, optimiert	max: Pflug, konv.						bei min pfluglos, optimiert	bei max Pflug, konv.
	Diesel l/ha				l Diesel / m³ CH₄		m³ CH₄/ha		
Weizen	36	88							
S-ZF 1,5 t TS/ha	39	52	75	140	55	420	365	21%	38%
S-ZF 2,0 t TS/ha	39	52	75	140	74	560	487	15%	29%
S-ZF 2,5 t TS/ha	39	53	75	141	92	700	608	12%	23%
S-ZF 4,5 t TS/ha	42	60	78	148	165	1260	1096	7%	14%
S-ZF 6,0 t TS/ha	46	68	82	156	219	1680	1462	6%	11%
Silo-Mais	102	139							
W-ZF 1,5 t TS/ha	39	52	141	191	55	420	365	39%	52%
W-ZF 2,0 t TS/ha	39	52	141	191	74	560	487	29%	39%
W-ZF 2,5 t TS/ha	39	53	141	192	92	700	608	23%	32%
W-ZF 4,5 t TS/ha	42	60	144	199	165	1260	1096	13%	18%
W-ZF 6,0 t TS/ha	46	68	148	207	219	1680	1462	10%	14%

In der Literatur konnten für Biogasanlagen und Biogasaufbereitungsanlagen keine Angaben zum Bedarf an „Grauer Energie“ gefunden werden, jener Energie, die für die Herstellung von Bauten, Maschinen und sonstiger Anlagentechnik benötigt und auf die Nutzungsdauer der Anlagen jährlich angerechnet wird. Hinzu kommt, dass es auch für Agrartechnik nur sehr grobe Schätzungen gibt und es mit dem bisherigen Erfahrungsstand nicht möglich ist vorherzusehen, zu welchem Anteil Maschinen für die Biogaserzeugung aus ZF genutzt werden würden und zu welchem für Hauptkulturen. Unter der Annahme, dass sich der Energiebedarf für die Herstellung durch graue Energie um ca. 35 % erhöhen würde, würde sich bei einem Bruttoenergieertrag von 1260 m³ CH₄/ha der Nettoenergieertrag von 1050 um 7 % auf 970 m³ CH₄/ha reduzieren. Wegen der geringen Veränderungen und der hohen Unsicherheit zu treffender Annahmen, wurde deshalb auf eine Berücksichtigung grauer Energie bei der Energiebilanzierung verzichtet.

Tab. 54 Comparison of net energy return from cover crops (biomethane), rape (biodiesel) and wheat (bioethanol), the distance attainable by car and the provision of food and feed per hectare

ZF / Raps / Weizen Ertrag pro ha	Brutto- Energie- ertrag / ha	ERO(E)I Mittel	Netto- Energie- ertrag / ha	Diesel / Benzin Equiva- lent	PKW-Fahrleistung mit Netto-Energie pro ha		Weizen* als Nahrungsmittel; DDGS / Presskuchen als Futtermittel
	m ³ /ha o. l/ha	output / input	l/ha bzw. m ³ /ha		l/100km	km/ha	t/ha
Biomethan (2.5 t TS/ha)	700	5,14	560	610	7,4	8200	7.2
Biomethan (4.5 t DM/ha)	1260	5,91	1050	1130	7,4	15300	7.2
Biomethan (6 t DM/ha)	1680	6,16	1400	1520	7,4	20500	7.2
Biodiesel (Raps 3.5 t/ha)	1590	2,17	860	780	5,1	15300	2.1**
Bioethanol (Weizen 7.2 t/ha)	2760	1,32	660	430	7,4	5800	2.7***

*statt Weizen kann auch jede andere Hauptkultur für Nahrungsmittelzwecke angebaut werden; ** Raps-Presskuchen; *** DDGS (Dried Distillers Grains with Solubles); Quellen: FNR 2014, Senn 2003, Firrisa 2013

15.5.2 Ökologischer Fußabdruck

Die Nutzung nachwachsender Rohstoffe als Energieträger oder industrielle Rohstoffe kann zu neuen Konkurrenzsituationen führen. Unbestritten ist die gesellschaftliche Hauptfunktion von biogenen Ressourcen - die Versorgung mit Lebensmitteln. Andere Nutzungen vor allem von Feldfrüchten in Hauptkulturstellung treten in direkte Konkurrenz mit dieser Funktion. Weiters können industrielle und energetische Nutzungen biogener Ressourcen auch in eine Flächenkonkurrenz mit Nahrungsmittelbereitstellung treten, auch wenn sie Ressourcen nutzen, die nicht direkt der Nahrungsbereitstellung dienen, wie etwa Holz oder Gras. Schließlich können durch verstärkte Nutzung von Nebenprodukten und Ernterückständen auch Beeinträchtigungen der Bodenfruchtbarkeit und damit eine Einschränkung der ökologischen Nachhaltigkeit landwirtschaftlicher Produktion einhergehen. Allein die Verwendung nachwachsender Rohstoffe ist daher keine Garantie für Nachhaltigkeit, sie muss in jedem Fall eingehend geprüft werden (Narodoslawsky 2014). Innovative landwirtschaftliche Nutzungsformen können hier wesentlich zu einem nachhaltigen Miteinander der einzelnen Funktionen der Landbewirtschaftung beitragen. Im vorliegenden Projekt wird die Nutzung von Zwischenfrüchten zu energetischen Zwecken untersucht. In diesem Abschnitt wird die Sinnhaftigkeit dieses Ansatzes aus der Sicht ökologischer Nachhaltigkeit überprüft.

Methodik

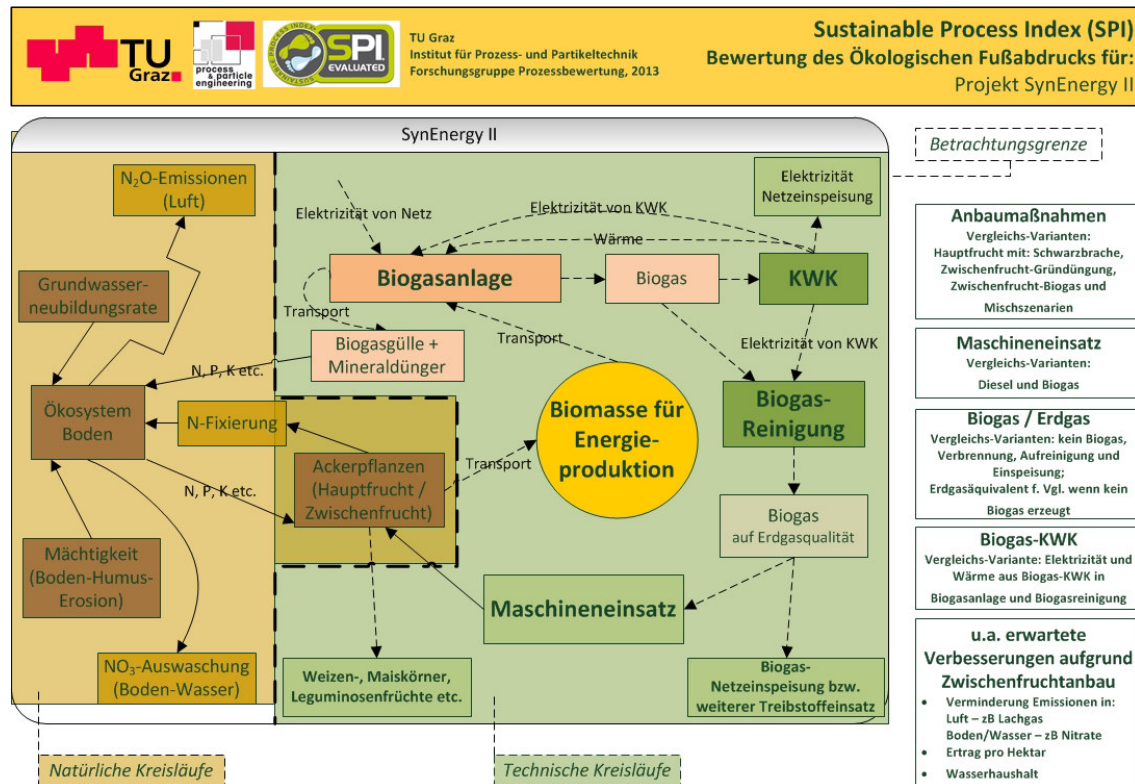
Um den ökologischen Druck der landwirtschaftlichen Produktion abschätzen zu können, wird ein umfassendes Bewertungsinstrument benötigt, das auch die gesamte Vorkette der landwirtschaftlichen Produktion mit bewertet, also den Einsatz von Düngemitteln und Pestiziden, sowie fossilen Energieträgern, um nur die wichtigsten zu nennen. Der ökologische Fußabdruck zeigt nicht nur den unmittelbaren Flächenverbrauch, sondern misst auch den mittelbaren Naturverbrauch (in Form von Fläche) für die Bereitstellung der Ressourcen und die „Verdauung“ der Emissionen einer menschlichen Aktivität.

Die derzeitige wissenschaftliche Literatur zum Thema ökologische Bewertung zeichnet sich durch eine große Vielfalt an unterschiedlichen Bewertungssystemen aus. Diese Vielfalt entsteht einerseits durch die Komplexität der Interaktionen zwischen Mensch und Mitwelt, andererseits durch die Unterschiedlichkeit normativer Grundhaltungen der einzelnen Proponenten ökologischer Wertungen, die damit bestimmte Aspekte dieser Interaktionen als besonders wichtig und daher messwürdig auffassen (Čuček et al. 2015).

Der ökologische Fußabdruck (bewertet mit dem Sustainable Process Index (Narodoslawsky & Krotscheck 1995) ist ein Maß für den unmittelbaren und mittelbaren Flächen- und Naturverbrauch zur Bereitstellung der Ressourcen und die „Verdauung“ der Emissionen einer menschlichen Aktivität. Die praktische Durchführung der Bewertung erfolgte dabei mit dem web-basierten Rechenwerkzeug SPionWeb (<http://spionweb.tugraz.at>). Dieses Rechen-Tool verfügt über eine umfangreiche Datenbank und ist in der Lage, komplexe und vernetzte Produktionssysteme mit Hilfe einer grafischen Benutzeroberfläche aufzubauen und zu bewerten (Kettl 2012). Für landwirtschaftliche Produktionsschritte konnte auf bereits bewährte Modelle zurückgegriffen werden (Narodoslawsky 2015). Für die im Rahmen des Projektes vermessenen Umweltdrucke durch Erosion, Emissionen von N_2O (Lachgas) und NO_3 (Nitrat), ebenso wie für den mitigierenden Effekt des Humusaufbaues auf die Treibhausgasemissionen wurden neue Wirkungsmodelle entwickelt (Narodoslawsky & Niederl 2005).

In Abb. 58 ist das Schema für die ökologische Bewertung von Haupt- und ZF-Systemen mittels SPI ersichtlich. Links (braune Fläche) sind natürliche Kreisläufe und die damit verbundenen Auswirkungen auf die Kompartimente Boden, Luft und Wasser dargestellt. Rechts (grüne Fläche) sind menschlich induzierte Prozesse abgebildet. Veränderungen in den Emissionsraten sind in der Überschneidungsfläche in der Mitte (Ackerpflanzen Haupt- und Zwischenfrucht) dargestellt.

Der ökologische Fußabdruck der untersuchten Varianten wurde für den Pfad der Biomethanbereitstellung als Ersatz für Erdgas oder CNG auf zwei Ebenen verglichen. Auf der ersten Ebene wurden nur die Prozesse der landwirtschaftlichen Erzeugung, die zur Bereitstellung von Weizen, Mais sowie von Biomasse zur Biogaserzeugung erforderlich sind, verglichen. In diesem Vergleich wurden bereits ökologische Effekte wie Nitratauswaschung, Lachgasemissionen, Erosion und Humusbilanzsaldo berücksichtigt. Auf der zweiten Vergleichsebene wurde auch die Energieerzeugung in die vergleichende Bewertung einbezogen. Um einen Vergleich mit der Variante ohne ZF bzw. ZF zur Gründüngung zu ermöglichen, wurde bei diesen Varianten eine äquivalente Menge an Erdgas, die durch das Biomethan der anderen Varianten ersetzt werden könnte, addiert.



- Winterweizen mit S-ZF und Silomais mit W-ZF. Dabei wurden zwei unterschiedliche Bodenbearbeitungs- und Erntesysteme angesetzt. Für Winterweizen wurde ein Durchschnittsertrag von 6 t für Silomais von 50 t FM bzw. 15 t TS angesetzt.
- Biogasgülle der W-ZF wird zu 30 %, die der S-ZF zu 80 % zu Düngezwecken für die folgende Hauptfrucht eingesetzt, wobei zu bedenken ist, dass der organisch gebundene Anteil des Stickstoffs für Pflanzen erst mit einer entsprechenden Zeitverzögerung von Bakterien durch Mineralisation verfügbar gemacht werden muss
- Für S-ZF wird ein Anteil an Leguminosen von 50 % mit einer N-Fixierung von ca. 11 kg N / t TS angenommen. Das ergibt 50 kg N / ha bei 4,5 t TS / ha. Bei W-ZF (z. B. *Trifolium incarnatum*) wird wegen der erforderlichen Düngung und der kurzen Zeitspanne, in der sich Knöllchenbakterien entwickeln können, nur eine Fixierung von ca. 8 kg N / t TS angenommen. Zum Vergleich: Für Klee grasbestände gilt als Faustzahl, dass pro t oberirdische Leguminosen-TS ca. 35 kg N fixiert wird.
- Durch N-Fixierung kann die Mineraldüngergabe reduziert werden. Im biologischen Landbau kann durch eine Erhöhung der N-Fixierungsleistung von Fruchtfolgen und die dadurch verbesserte N-Versorgung in der Regel das Ertragsniveau verbessert werden.
- Gut entwickelte ZF-Bestände verringerten den Unkrautdruck und ermöglichen dadurch eine Reduktion des Herbizideinsatzes. Wegen mangelnder Erfahrungswerte und unsicherer Datenlage wurde auf eine Berücksichtigung dieses Effekts in der SPI-Berechnung verzichtet.

Die Nutzung von Biogas, das aus den anfallenden Bioressourcen gewonnen wird, kann unterschiedlich erfolgen. Es kann entweder über Kraft-Wärme-Kopplungen zur Strom- und Wärmebereitstellung eingesetzt werden oder aber aufgereinigt und als Treibstoff (etwa in Traktoren) Anwendung finden bzw. in das Gasnetz eingespeist werden. Je nach Nutzung ändert sich natürlich auch der ökologische Fußabdruck. Mit diesen Annahmen und Rahmenbedingungen wurden die in Tab. 55 und Tab. 57 zusammengefassten Varianten bewertet. Angaben über Erträge sind ebenfalls aus diesen Tabellen zu ersehen.

Sowohl in V0, mit Schwarzbrache zwischen den Hauptfrüchten als auch in V1, in der ZF zur Gründüngung auf der Fläche verbleibt, wird für den Vergleich eine Menge an Erdgas angesetzt, die jener von Biogas der anderen Szenarien entspricht. Für den Treibstoffverbrauch wurden KTBL-Werte für mittleren Boden von Traktoren mit 70 bis 110 kW berücksichtigt. Für V0, V1, V2 wurde einmal jährlich der Einsatz des Pfluges angenommen. In V3 wurde konservierende Bodenbearbeitung ohne Pflug angenommen, weil dies wegen des verringerten Unkrautdrucks aus pflanzenbaulicher Sicht naheliegend ist. In V4 werden Arbeitsmaschinen mit Biomethan aus eigener Herstellung betrieben und der Kreislauf intern geschlossen. Betrachtet man die Ergebnisse in Tab. 55 und Tab. 57, so erkennt man, dass die ökologische Ersparnis durch den Verbleib von ZF auf der Fläche als Gründünger statt einer Schwarzbrache bei S-ZF nach Weizen unter Berücksichtigung der Biogasbereitstellung 7 % beträgt und bei Mais mit W-ZF 10 % beträgt. Grund dafür ist die Anrechnung einer äquivalenten Menge an Erdgas, um einen vollständigen Vergleich mit den Varianten mit Biogaserzeugung zu ermöglichen. Lässt man die Erdgassubstitution außen vor und fokussiert auf

den Anbau der Pflanzen beträgt die Reduktion des ökologischen Druckes bei S-ZF und Weizen 19 % und bei W-ZF und Mais 20 %.

Durch die Nutzung der ZF zur Biogasgewinnung können größere ökologische Vorteile erzielt werden. In V2 beträgt die Reduktion des Fußabdrucks 53 % und in V3 55. Durch den Einsatz von Biomethan als Treibstoff (V4) ergibt sich nur mehr eine relativ geringfügige Steigerung des ökologischen Vorteils. Es ist hier zu beachten, dass der Fußabdruck durch den Ersatz von Diesel mit Biomethan geringer ist, da das Biomethan wieder der Landwirtschaft zugeführt wird. Da sich dadurch die Substitution von Erdgas in V0 und V1 verringert, widerspiegelt V4 nur den Unterschied des Fußabdrucks von Methan und Diesel.

Tab. 55 Ökologischer Fußabdruck (SPI [m² / ha]) von S-ZF (für Biogas oder gemulcht) mit Weizen als Hauptfrucht

	V0 ohne ZF	V1 ZF gemulcht	V2 ZF Biogas, Pflug	V3 ZF Biogas pfluglos	V4 ZF Biogas pfluglos Biomethan
Brotweizen [t/ha mit 12 % Endfeuchte]	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0
ZF Biomassebildung [t TS / ha]	0	2,5	4,5	4,5	4,5
Weizen Technik Treibstoff Betriebsmittel	244.000	208.000	185.000	160.000	150.000
ZF Technik, Treibstoff	0	3.000	28.000	29.000	29.000
NO ₃ , H ₂ O, Erosion, Humus	162.000	119.000	21.000	19.000	19.000
Summe Weizen/Biomasse Erzeugung	406.000	330.000	234.000	209.000	198.000
SPI Änderung in Relation V0 [%]	100%	81%	58%	51%	49%
SPI Änderung in Relation V1 gemulcht [%]		100%	71%	63%	60%
Biomethan / Erdgas [m ³]	1260 m ³ Erdgas	1260 m ³ Erdgas	1260 m ³ Biomethan	1260 m ³ Biomethan	1260 m ³ Biomethan
Erdgasverbrauch bzw. Biogasfermentation, Aufbereitung, Verdichtung [m ² SPI / ha]	675.000	675.000	275.000	275.000	275.000
SPI Summe inkl. Erdgassubstitution bzw. Biomethanbereitstellung	1.081.000	1.005.000	509.000	484.000	473.000
SPI Änderung in Relation V0 [%]	100%	93%	47%	45%	44%
SPI Änderung in Relation V1 gemulcht [%]		100%	51%	48%	47%

Tab. 56 Eingangsdaten für die Ermittlung des Ökologischen Fußabdrucks von S-ZF und Weizen

	V0 ohne ZF	V1 ZF gemulcht	V2 ZF Biogas, Pflug	V3 ZF Biogas pfluglos	V4 ZF Biogas pfluglos Biomethan
Brotweizen t/ha mit 12 % Endfeuchte	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0
ZF Biomassebildung [t TS / ha]	0	2,5	4,5	4,5	4,5
Dieselvebrauch Weizen [l/ha]	71	71	71	36	36
Dieselvebrauch ZF [l/ha]	0	6	60	42	42
Mineral N-Dünger Weizen [kg N/ha]	150	120	100	100	100
N ₂ -Fixierung Sommerzwischenfrucht	0	30	50	50	50
Biogasgärrest mit 8 % TM-Gehalt [t/ha]	0	0	18	18	18
P-Dünger SP [kg/ha]	8,0	8,0	8,0	8,0	8,0
K-Dünger SP [kg/ha]	9,0	9,0	9,0	9,0	9,0
Ca-Dünger SP [kg/ha]	31,3	31,3	31,3	31,3	31,3
Herbizid MCPA SP [kg/ha]	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14
Herbizid Mecoprop-P SP [kg/ha]	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11
Fungicide Tebuconazol SP [kg/ha]	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
Fungicide Tebuconazol SP [kg/ha]	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03
Molluskizid Methiocarb SP [kg/ha]	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
NO ₃ -Emissionen [kg/ha]	34	32	25	25	25
N ₂ O Emissionen [kg/ha]	4,3	5,3	4,6	4,6	4,6
Erosion [t/ha]	1,3	1	1	0,4	0,4
Humus [kg C/ha]	64	236	369	369	369
Weitere Parameter	weiterführende Dateninfos Material- und Technologieinsatz: www.spionweb.tugraz.at				

Im System mit Mais als Hauptfrucht (siehe Tab. 57) wurde die Biogaserzeugung aus ZF nicht nur mit Schwarzbrache und Gründüngung verglichen, sondern auch mit der Biogaserzeugung aus Mais und Maisstroh. Ergänzend wurde in V5 auch berechnet, wie sich die

Eigenversorgung der Biogasanlage und Biogasaufbereitung mit Strom und Wärme mittels eines Biogas-Blockheizkraftwerkes (BHKW) auf den Fußabdruck auswirkt. Bei der Biogaserzeugung aus Mais, wurde davon ausgegangen, dass maximal 20 % der Ackerfläche für die Energieerzeugung genutzt werden könnten. Deshalb wurden von einem repräsentativen Hektar nur 20 % des Ertrages für die Biogaserzeugung genutzt und der Rest als Futtermittel. Zur Berücksichtigung der Flächenkonkurrenz wurde angenommen, dass der energetisch genutzte Mais durch den Import einer äquivalenten Menge anderer Futtermittel ersetzt werden muss. Zur Vereinfachung wurde der Zukauf von Silomais angenommen, sodass für einen ha Maisanbau letztlich der Fußabdruck von 1,2 ha Mais angesetzt wurde.

Tab. 57 Ökologischer Fußabdruck (SPI [m² / ha]) von W-ZF (für Biogas oder gemulcht) und Mais als Hauptkultur sowie von Biogaserzeugung aus Mais auf 20% der Ackerfläche sowie aus Maisstroh

	V0 ohne ZF	V1 ZF gemulcht	V2 ZF Biogas, Pflug	V3 ZF Biogas pfluglos	V4 ZF Biogas pfluglos Biomethan	V5 ZF Biogas pfluglos 100% Eigenversorgung	Biogas Mais auf 20% Ackerfläche	Biogas aus 75% Maisstroh (4,5 t TS/ha)
Mais (50 t FS bzw. 15 t TS / ha)	Silo-Mais 100 % Futternutzung						Silo-Mais 80% Futter, 20% Biogas	9 t TS CCM für Futter
Import/Zukauf Futter	-	-	-	-	-	-	3 t TS Maissilage	-
ZF Biomassebildung [t TS / ha]	0	2,5	4,5	4,5	4,5	4,5	0	0
Mais Technik Treibstoff Betriebsmittel	387.000	365.000	346.000	335.000	312.000	312.000	464.000	387.000
ZF Technik, Treibstoff	0	3.000	20.000	21.000	21.000	21.000	0	21.000
NO ₃ , H ₂ O, Erosion, Humus	293.000	172.000	104.000	101.000	101.000	101.000	351.000	293.000
SPI Summe Mais/Biomasse Erzeugung	679.000	541.000	470.000	457.000	434.000	434.000	815.000	700.000
SPI Änderung in Relation V0 [%]	100%	80%	69%	67%	64%	64%	120%	103%
SPI Änderung in Relation V1 [%]		100%	87%	84%	80%	80%	151%	129%
Biomethan / Erdgas [m ³]	1260 m ³ Erdgas	1260 m ³ Erdgas	1260 m ³ Erdgas	1260 m ³ Erdgas	1260 m ³ Erdgas	1260 m ³ Erdgas	1260 m ³ Erdgas	1260 m ³ Erdgas
Erdgasverbrauch / Biogasfermentation, Aufbereitung, Verdichtung	675.000	675.000	280.000	280.000	280.000	118.000	280.000	323.000
SPI Summe inkl. Erdgassubstitution bzw. Biomethanbereitstellung	1.354.000	1.216.000	750.000	737.000	714.000	552.000	1.095.000	1.023.000
SPI Änderung in Relation V0 [%]	100%	90%	55%	54%	53%	41%	81%	76%
SPI Änderung in Relation V1 [%]		100%	62%	61%	59%	45%	90%	84%

Beim Vergleich der Varianten ergibt sich ein ähnliches Bild wie für S-ZF mit Winterweizen, wenngleich die relativen Unterschiede wegen des höheren Fußabdrucks von Mais mit 45 % zwischen V0 und V2 und 46 % zwischen V0 und V3 etwas geringer ausfallen als bei S-ZF. Die Verbesserung, die mit der Biogaserzeugung aus 20 % Mais oder Maisstroh erreicht werden kann, fällt mit 19 % bei Maissilage bzw. 24 % bei Maisstroh deutlich geringer aus, wenn der Mais wie in V0 mit Schwarzbrache und Pflugfurche angebaut wird. Durch die Integration von ZF als Gründüngung oder die zusätzliche Nutzung für die Biogaserzeugung könnte auch in diesen beiden Fällen eine wesentliche Verbesserung erreicht werden. Das beste Ergebnis lässt sich mit V5 erreichen. In V5 wird neben der ZF-Nutzung auch ein integriertes Energiesystem eingesetzt, bei dem die Wärme des BHKWs zur Versorgung des Fermenters und der Gasaufbereitung voll genutzt wird. Mit dieser Variante kann eine Reduktion des Fußabdrucks um 59 % im Vergleich V0 erreicht werden. Durch den Einsatz des Biomethans im Ackerbau (V4) kann eine Einsparung von ca. 47 % im Vergleich zu V0 erreicht werden, weil sich der Unterschied zu V3 darauf beschränkt, dass statt Erdgas Diesel substituiert wird.

Tab. 58 Eingangsdaten für die Ermittlung des Ökologischen Fußabdrucks von W-ZF und Mais

	V0 ohne ZF	V1 ZF gemulcht	V2 ZF Biogas, Pflug	V3 ZF Biogas pfluglos	V4 ZF Biogas pfluglos Biomethan	V5 ZF Biogas pfluglos 100% Eigenversorgung	Biogas Mais auf 20% Ackerfläche	Biogas aus 75% Mais-stroh (4,5 t TS/ha)
Mais (50 t FS bzw. 15 t TS / ha)	Silo-Mais 100 % Futtermutzung						Silo-Mais 80% Futter, 20% Biogas	9 t TS CCM für Futter
Import/Zukauf Futter							3 t TS Maissilage	
ZF Biomassebildung [t TS / ha]	0	2,5	4,5	4,5	4,5	4,5	0	0
Dieserverbrauch Mais [l/ha]	105	105	105	86	86	105	105	105
Dieserverbrauch ZF [l/ha]	0	6	60	42	42	0	0	0
Mineral N-Dünger [kg N/ha]	190	170	155	155	155	155	190	190
N ₂ -Fixierung W-ZF	0	20	35	35	35	0	0	35
Biogasgärrest [t/ha]	0	0	18	18	18	18	18	18
P-Dünger SP [kg/ha]	24	24	24	24	24	24	24	24
K-Dünger SP [kg/ha]	139	139	139	139	139	139	139	139
Ca-Dünger SP [kg/ha]	126	126	126	126	126	126	126	126
Herbizid Phenmediapham SP [kg/ha]	0,92	0,92	0,92	0,92	0,92	0,92	0,92	0,92
Herbizid Terbutylazin SP [kg/ha]	1,62	1,62	1,62	1,62	1,62	1,62	1,62	1,62
Herbizid Pyridate SP [kg/ha]	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
NO ₃ -Emissionen [kg/ha]	28	26	21	21	21	21	28	28
N ₂ O Emissionen [kg/ha]	4,4	4,9	4,5	4,5	4,5	4,5	4,4	4,4
Erosion [t/ha]	3,7	1,5	1,6	0,8	0,8	0,8	3,7	3,7
Humus [kg C/ha]	-169	97	199	199	199	199	-169	-169
Weitere Parameter	Material- und Technologieeinsatz weiterführende Dateninfos: www.spionweb.tugraz.at							

Bewertung des Ökologischen Fußabdrucks von Nitratauswaschung und Erosion im Relation zu Lachgasemissionen und Veränderungen des Humusgehalts

Der Fußabdruck für Lachgas (N₂O) wird nach der Regel für Emissionen in die Atmosphäre mit 43.478 m²/kg, jener für Nitrat (NO₃) nach den Regeln für Emissionen in Wasser mit 68 m²/kg angesetzt. Nach Abschluss der Berechnungen zeigte sich, dass der Fußabdruck für NO₃ in Relation zu N₂O mit diesen Werten sehr niedrig ausfällt: Die Höhe des Fußabdrucks für NO₃ beträgt nur ca. 1 % des Fußabdrucks von N₂O, obwohl die Nitratkonzentration des Sickerwassers beim angesetzten Stickstoffaustrag den gesetzlich zulässigen Maximalwert von 50 mg NO₃/l überschreitet. Das bedeutet, dass sich hohe Grenzwertüberschreitungen durch Nitratauswaschung nur marginal auf den Gesamtfußabdruck des Ackerbauverfahrens auswirken würden. Da sowohl die Auswaschung von NO₃ als auch die Ausgasung von N₂O ansteigen, wenn Ackerflächen Stickstoff zugeführt wird bzw. in den obersten Bodenschichten vorhanden ist, ohne unmittelbar von Pflanzen aufgenommen zu werden, wird ein Anstieg der Nitratauswaschung durch den Anstieg von Lachgasemissionen mit abgebildet. Lediglich bei leichten und schweren Böden kommt es zu Abweichungen, denn bei leichten Böden gelangt überschüssiger Stickstoff eher durch Auswaschung in die Umwelt, auf schweren Böden steigt die Umweltbelastung eher durch gasförmige Emissionen. Aus diesen Gründen sind weitere Untersuchungen erforderlich, um die Relation der Bewertung von N₂O und NO₃ anzupassen.

Veränderungen des Humusgehalts bzw. des im Humus gebundenen Kohlenstoffs gehen mit 500 m²/kg C in die Berechnung des Fußabdrucks ein. Humusaufbau weist einen negativen

Fußabdruck (also eine Fußabdrucks-Gutschrift) auf und Humusabbau geht mit einem positiven, die Umwelt belastenden Wert in den Gesamt-Fußabdruck ein. Dabei wird angenommen, dass Humusaufbau Kohlenstoff langfristig bindet und die Atmosphäre entlastet. Hinsichtlich dieser Annahmen dürfte eine Verfeinerung des zugrundeliegenden Modells erforderlich sein, weil jeder Boden entsprechend den klimatischen Bedingungen nicht beliebig viel Humus anreichern kann und bei grundlegender Veränderung der Bewirtschaftung z. B. Erhöhung der Bodenbearbeitungsintensität oder Entwässerungsmaßnahmen auf nassen Böden Kohlenstoff in wenigen Jahren wieder freigesetzt wird.

Erosion wird über die Erneuerungsrate des Kompartiments Boden berechnet, die über die Produktion von organischer Bodensubstanz aus Gras dargestellt wird. Dies führt zu einem Fußabdruck von 4 m² pro kg erodierten Bodens. Dabei wird allerdings noch nicht der Verlust bzw. die Nachlieferung von mineralischen Bodenbestandteilen aus dem Ursprungsgestein durch Verwitterung abgebildet. Hinzu kommt, dass auch der Humusverlust durch Erosion bei diesem geringen Wert unterschätzt wird. Denn bei einem Humus-C-Gehalt von 2,5 %, wie er auf den Versuchsflächen von Syn-Energy II im Durchschnitt im Oberboden vorzufinden war, gehen durch die Erosion von 1 t Boden 25 kg Humus-C verloren. Wird dieser Verlust als Humusabbau bewertet, ergibt sich ein Fußabdruck von 12.500 statt der 4.000 m² SPI / ha, die sich beim gleichen C-Verlust über die Erosion ergeben. Diese Schwächen des Modells haben zur Folge, dass Erosion den Fußabdruck erst bei relativ hohen Mengen abgeschwemmten Bodens in ähnlicher Weise beeinflusst, wie Veränderungen des Humusgehalts. Sollten die SPI Werte für N₂O und Humusgehaltsänderungen in aktueller Höhe beibehalten werden, würde sich der Gesamtfußabdruck durch eine Anhebung der Werte für Erosion und Nitratauswaschung deutlich erhöhen.

Zusammenfassung Ökologischer Fußabdruck

Die Nutzung von ZF als Rohstoff für die Biogaserzeugung kann bei adäquatem Management wesentliche ökologische Vorteile bringen. Betrachtet man ein System, das neben der Hauptfrucht auch Biomethan erzeugt, so können mit dieser Bewirtschaftungsform Reduktionen des ökologischen Fußabdrucks zwischen 45 % (im Falle von V3 bei W-ZF/Mais) und 59 % (im Falle V5 bei W-ZF/Mais) im Vergleich zu V0 erzielt werden. In diese Zahlen sind bereits die ökologischen Drücke der Nitrat- und Lachgasemissionen sowie Erosion und Veränderungen des Humusgehalts eingerechnet. In allen Fällen ist die Reduktion des ökologischen Fußabdrucks deutlich höher als beim Verbleich von ZF auf der Fläche als Gründüngung.

15.5.3 Literatur Energiebilanzen, ökologischer Fußabdruck

- Čuček, L., Klemeš, J. J. and Kravanja, Z., (2015) Chapter 5 - Overview of environmental footprints, In *Assessing and Measuring Environmental Impact and Sustainability*, Butterworth-Heinemann, Oxford, pp 131-193, ISBN 978-0-12-799968-5, doi: <http://dx.doi.org/10.1016/B978-0-12-799968-5.00005-1>.
(<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780127999685000051>).
- Firrisa, M. T. Duren I. van and Voinov A., (2013) "Energy efficiency for rapeseed biodiesel production in different farming systems," *Energy Efficiency* 7, 1 pp. 79-95.
- FNR (2009) Biogas-MessprogrammII, 61 Biogasanlagen im Vergleich. Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe, (Date of download: 2014-11-04) Abrufbar unter: http://www.fnr-server.de/ftp/pdf/literatur/pdf_385-messprogramm_ii.html

- FNR (2014) "Basisdaten Bioenergie Deutschland. Festbrennstoffe, Biokraftstoffe, Biogas," Gülzow: Hrsg.: Fachagentur
Nachwachsende Rohstoffe, (Date of download: 2014-11-04) Abrufbar unter:
http://mediathek.fnr.de/media/downloadable/files/samples/b/a/basisdaten_9x16_2014_web.pdf
- IFEU (2008) Optimierungen für einen nachhaltigen Ausbau der Biogaserzeugung und -nutzung in Deutschland.
Projektbericht. Institut für Energetik und Umwelt, Leipzig. Abrufbar unter <http://www.ifeu.de/landwirtschaft/pdf/BMU-Biogasprojekt%202008-Gesamtband.pdf>. Abgerufen am 20.5.2015
- Kettl, K.-H., (2012) Evaluation of energy technology systems based on renewable resources, Dissertation, Institute for
Process and Particle Engineering, Graz, Austria, pp 1-186.
- KTBL (2014) Leistungs-Kostenrechnung Pflanzenbau. Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft. Abrufbar
unter: <http://daten.ktbl.de/dslkrpflanze/postHv.html#Auswahl>. Abgerufen am 20.5.2015
- Narodoslawsky, M. and Krotscheck, C. (1995), The sustainable process index (SPI): evaluating processes according to
environmental compatibility, *Journal of Hazardous Materials*, Vol. 41, Issues 2–3, Pages 383-397, ISSN 0304-3894,
[http://dx.doi.org/10.1016/0304-3894\(94\)00114-V](http://dx.doi.org/10.1016/0304-3894(94)00114-V). (<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/030438949400114V>).
- Narodoslawsky, M. and Niederl, A. (2005): Sustainable Process Index, Renewable-Based Technology: Sustainability
Assessment, Chapter 10 Ed: Dewulf, J.; van Langhove, H., John Wiley & Sons.
- Narodoslawsky M. (2014): Utilising bio-resources – a rational strategy for a sustainable bio-economy, ita-manuscript,
Vienna, Abrufbar unter: http://epub.oeaw.ac.at/ita/ita-manuscript/ita_14_02.pdf.
- Narodoslawsky, M. (2015): Chapter 3 - Sustainable process index, In Assessing and Measuring Environmental Impact and
Sustainability, edited by Jiří Jaromír Klemeš, Butterworth-Heinemann, Oxford, 2015, Pages 73-86, ISBN
9780127999685, <http://dx.doi.org/10.1016/B978-0-12-799968-5.00003-8>.
(<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780127999685000038>)
- Senn T. and Luca, S. F. (2003) "Studie zur Bioethanolproduktion aus Getreide in Anlagen mit einer Jahres-
Produktionskapazität von 2, 5, und 9 Mio. Litern. Eine Energie- und Kostenbilanzierung. Erstellt im Auftrag von:
Bundesverband landwirtschaftliche Rohstoffe verarbeitende Brennereien e. V.," (Date of download: 2014-06-29)
Abrufbar unter: <https://www.uni-hohenheim.de/gaerung/dateien/Gesamtstudie%20120503.pdf>
- SPionWeb (Sustainable Process Index on Web), <http://spionweb.tugraz.at>, Graz University of Technology 2013 – 2015, last
accessed on 21/04/2015.

15.6 Praktische Erprobung und wirtschaftliche Bewertung der Biogaserzeugung aus ZF

15.6.1 Biogas aus S-ZF durch Praktiker auf ganzen Schlägen und Markteinführung BIOGASMIX

Zu Projektstart 2011 wurde der Anbau von S-ZF und Leguminosenuntersaaten aus dem
Vorläuferprojekt ausgewertet. Mit einem Gemenge aus Sonnenblumen, Ackerbohnen, Futter-
erbsen, Alexandrinerklee, Wicken, Sudangras und Sandhafer konnten beim Anbau Ende Juli
TS-Erträge von 3 bis 5 t/ha erzielt werden. Dieses Gemenge wurde in den Folgejahren zu
BIOGASMIX weiterentwickelt. In Niederösterreich wurden 2011 im Raum Bruck/Leitha etwas
mehr als 40 Hektar S-ZF zur Verwertung in Biogasanlagen angebaut und durchschnittliche
TS-Erträge von 2,5 – 3,5 t/ha erzielt. Gut entwickelte Bestände erreichten 4,5 bis 6 t TS/ha.
Ende Oktober 2011 wurden bei hervorragenden Erntebedingungen TS-Gehalte zwischen 27
und 35% bei Hirse und zwischen 24 und 30% bei den Gemengen erzielt. Probleme bei der
Konservierung und Verwertung des Ernteguts gab es nicht.

Im Sommer 2012 wurden auf einigen Standorten in NÖ, OÖ und dem Burgenland ca. 115 ha
S-ZF angebaut. Auf ca. der Hälfte der Fläche wurde erneut das S-ZF-Gemenge, dass sich

2011 im Südburgenland bewährt hatte, angebaut. Es wurde die Eignung auf verschiedenen Standorten bei unterschiedlichen Witterungsverläufen überprüft. Bei Anbau Ende Juni / Anfang Juli erreichte es in OÖ und dem Bgld Erträge von knapp 7 t TS/ha. Ein Teil der Flächen im Südburgenland war jedoch von der Sommer-Trockenheit stark betroffen und die Erträge lagen trotz frühem Anbau nur bei ca. 2 - 3 t TS / ha. An besonders trockenheitsexponierten Stellen waren die Bestände nicht erntewürdig. Bei Anbau nach Weizen in der zweiten Juli-Hälfte lagen die Erträge bei 4 – 5 t TS/ha. Bei spätem Anbau in der ersten Augustwoche wurden in OÖ ebenfalls nur mehr 2,5 t TS/ha erreicht.

2013 wurde das Sommerzwischenfruchtgemenge BIOGASMIX von der Saatbau Linz in den Markt eingeführt, österreichweit in den Lagerhäusern zum Verkauf angeboten und auf ca. 300 ha angebaut. Daneben wurden von Biogasanlagenbetreibern auch noch weitere selbst zusammengestellte ZF-Gemenge angebaut. In der Umgebung von Bruck/Leitha wurde eine Mischung aus Sommertriticale, Sonnenblumen, Senf/Ölrettich, Alexandrinerklee, Hirse, Sudangras 2013 auf 123 ha. Trotz der Trockenheit wurden auf vielen Schlägen gute Erträge erzielt. Die im Gemenge enthaltenen Sonnenblumen sind beim Frost Anfang Oktober vor allem in tieferen Lagen großteils abgefroren. Ölrettich und Wintertriticale sind wegen des warmen Herbstes bis zur Ernte im November weitergewachsen.

Tab. 59 Ergebnisse Ertragsermittlung mit Meterschnitten des S-ZF-Gemenges Bruck/Leitha 2013

Fläche	Frischgewicht (t/ha)	Trockengewicht (t/ha)	Trockensubstanz (% vom FG)
G2	47,8	5,3	11,3
KR3	24,5	3,0	12,2
Speckl 4	53,0	5,7	11,0
Speckl 6	37,0	5,3	14,5
RU3	55,2	6,1	10,9
K1	55,8	5,4	9,7
BG-MIX	16,3	2,5	15,2

2014 wurde BIOGASMIX auf ca. 250 ha angebaut und Mitte Juli 2015 reichte die verkaufte Saatgutmenge bereits für einen Anbau auf ca. 200 ha. Neben Biogasmix wurden auch andere ZF-Gemenge angebaut. 2014 wurde von der Saatbau Linz nach Anfragen von Praktikern eine zweiteilige S-ZF Mischung angeboten, damit grob- und feinkörnige Samen in optimaler Tiefe abgelegt werden können. In Niederösterreich wurden 2014 wegen des bescheidenen betriebswirtschaftlichen Ergebnisses im Jahr 2013 nur mehr auf 38 ha S-ZF für die Biogaserzeugung genutzt.

Eine Möglichkeit die Ertragspotenziale von S-ZF zu steigern, ist die Auswahl frühreifer Getreidearten, damit die Flächen früher für den S-ZF-Anbau beerntet werden können. Da eine frühzeitige Abreife bisher nur in Ausnahmefällen im Focus der Züchtung stand, dürfte bei entsprechender Berücksichtigung auch eine Vergrößerung des Spektrums früher Sorten möglich sein.

15.6.2 S-ZF-Pflanzenarten und Zusammenstellung von S-ZF-Gemengen

Der Anbau von S-ZF in Gemengen hat bei Auswahl gut harmonisierender Arten gegenüber Einzelkulturen zahlreiche Vorteile.

Leguminosen (z. B. Futtererbsen/Peluschken, Ackerbohnen, Alexandrinerklee, Sommerwicken, Perserklee) in ZF-Gemengen produzieren bei ausreichenden Niederschlägen nicht nur Biomasse sondern binden als Zusatznutzen auch Luftstickstoff. Dadurch ermöglichen sie bei konventioneller Bewirtschaftung eine Reduzierung des Mineraldüngereinsatzes in der Fruchtfolge, weil die Düngung der ZF reduziert werden kann und die Biogasgülle stattdessen zu Hauptkulturen ausgebracht werden kann. Bei biologischer Bewirtschaftung kann entweder das Ertragsniveau gesteigert oder der Kleeergrasanbau bzw. der Zukauf teurer biologischer Düngemittel reduziert werden.

Sudangrashybride eignen sich besonders für frühen Anbau und kommen nach ausreichender Wurzelentwicklung mit Trockenheit relativ gut zurecht. Als C4-Pflanzen benötigen sie ausreichende Wärme und sollten deshalb spätestens gegen Ende Juli angebaut werden. Für späten Anbau sind Kruziferen wie Ölrettich oder Senf eher geeignet.

Sonnenblumen können nicht nur beträchtliche Mengen an Biomasse bilden, sondern sind auch gute Stützpflanzen beim Anbau im Gemenge mit Erbsen und Wicken. Wie Biogasanlagenbetreiber berichteten, erhielten sie insbesondere beim Anbau von Sonnenblumen in S-ZF-Gemengen positive Rückmeldungen von Anrainern. Mungo erreicht bei frühem Anbau ebenfalls die Blühphase ist allerdings sehr frostempfindlich und kann schon bei Frühfrost im September komplett absterben. Phacelia ist insbesondere bei hohem Risiko von Schneckenfraß als S-ZF-Mischungspartner zu empfehlen. Wie die meisten Leguminosen, Mungo und Sonnenblumen ist sie eine Blühpflanze, die bei rechtzeitigem Anbau als Bienenweide dient und auch Hummeln, Schmetterlinge und andere Insekten anlockt und zur Akzeptanzverbesserung der Biogaserzeugung beitragen kann.

Getreide- oder Gräseranteile in S-ZF-Gemengen können deren Ertragspotenziale erhöhen und die Tragfähigkeit der Böden bei feuchteren Erntebedingungen verbessern. Bei Sommerroggen und Sommertriticale war der Krankheits- bzw. Schädlingsdruck relativ gering und es konnte eine rasche Entwicklung der Pflanzen beobachtet werden. In Fruchtfolgen mit hohem Getreideanteilen ist auf das Risiko der Übertragung von Getreidekrankheiten zu achten, wenn Getreide als Hauptkultur auf Getreide folgt. Darüber hinaus muss der Getreideanteil in ZF-Gemengen unter 50 % bleiben, wenn eine ÖPUL-Förderung beantragt wurde. In einigen Mischungen wurde Sandhafer getestet – aufgrund der hohen Saatgutkosten aber nur in geringen Prozentanteilen im Gemenge. Auf einer kleinen Versuchsparzelle konnten für Sandhafer in Reinsaat Ertragspotenziale von 4 – 5 t TS/ha erhoben werden. Gräser benötigen in der Regel höhere Niederschlagsmengen als die meisten anderen ZF-Arten, um ihre Ertragspotenziale voll entfalten zu können. Bei pflugloser Bewirtschaftung nach Gräsern sind geeignete Bodenbearbeitungsgeräte mit schneidenden Werkzeugen zu wählen, damit Gräser-Wurzelstöcke beim Anbau der Folgekultur keine Probleme bereiten und eine Verunkrautung der Folgekultur mit Gräsern vermieden wird.

Biomassehirsen wurden ausschließlich als Reinsaat bestellt. Sämtliche Versuche, sie in Gemengen mit anderen Begrünungspflanzen zu säen, schlugen in den Versuchen in Raum Bruck/Leitha aufgrund der geringen Konkurrenzkraft der Hirsen fehl. Deswegen sind die Hirsebestände in der Jugendentwicklung unkrautfrei zu halten. Nach den Erfahrungen der letzten Jahre ist der Einsatz eines Herbizids jedoch nicht notwendig, wenn ein Hacke zur

Verfügung steht. Es gibt auch Überlegungen, Untersaaten in den Hirsebeständen zu etablieren. Untersaaten mit kleinsamigen Leguminosen könnten mehrere Vorteile miteinander vereinigen (Unkrautunterdrückung, bessere Tragfähigkeit der Böden, N-Fixierung,...). Der richtige Zeitpunkt zum Anbau der Untersaaten (BBCH-Stadium der Hirse) müsste aufgrund der Konkurrenzverhältnisse noch getestet werden. In den letzten Jahren zeigten Hirsearten zwar hohe Ertragspotenziale, die Schwankungsbreite der Erträge war jedoch sehr groß. Hirse eignet sich für den Anbau nach Getreide-Ganzpflanzensilage oder sehr frühreifen Hauptkulturen (Wintergerste, Raps, Erbsen). Je später der Anbauzeitpunkt, umso höher das Ertragsrisiko – bis hin zum Totalausfall. Die Erträge 2011 lagen zwischen 6,2 t TS/ha (Anbau: 25.06.) und 1,3 t TS (Anbau: 01.08.).

Neben den angeführten Pflanzenarten dürften sich auch zahlreiche andere zur Nutzung als S-ZF eignen (z. B. Buchweizen, Quinoa, Amaranth, etc.). Je nach Fruchtfolge, Boden- und Klimaverhältnissen sind auch individuelle Ergänzungen mit neuen/anderen Arten möglich.

15.6.3 Kombinierte Verwertung von S-ZF mit Maisstroh und Erschließung von Gülle

In Abhängigkeit von Maissorte und Ertrag können bei Nutzung als Körnermais oder CCM Maisstroherträge von 2 - 8 t TS/ha erzielt werden. Der Methangehalt betrug 240 bis 320 NI CH₄/t TS, abhängig vom Reifezustand der Restpflanze. Die Rapsstroherträge sind etwas geringer und lagen zwischen 2 und 5 t TS/ha mit einem Methanertrag von 180 – 250 NI CH₄/t TS. Bei Maisstroh entstehen bei einer Ernte mit Bandmulcher und Ladewagen ähnliche Erntekosten wie bei ZF von ca. 30 € / t TS (Feld Hof Entfernung ca. 3km).

Die Nutzung Gülle für die Biogaserzeugung ist in vielen Fällen nicht möglich, weil zu geringe Mengen anfallen und der Anbau von Mais als Co-Substrat zu einer Konkurrenz um Futterflächen führen würde. Wenn jedoch ZF, Stroh und andere Reststoffen als Co-Substrat genutzt werden, kann es eher gelingen auch in Regionen mit hoher Flächenkonkurrenz Gülle für die Biogaserzeugung zu nutzen. Zusätzlich bewirkt die Aberntung der Feldreste eine Reduktion der Vermehrung von Schädlingen und der Fusarienbelastung.

15.6.4 Auswirkungen von S-ZF auf nachfolgende Hauptkulturen

Negative Auswirkungen auf Folgekulturen durch S-ZF können in der Regel durch angemessenes Management vermieden werden. Auch in Gebieten mit niedrigen Jahresniederschlagssummen, wie dem Gebiet um Bruck/Leitha im östlichen Niederösterreich, konnten keine negativen Auswirkungen durch Wasserverbrauch der S-ZF festgestellt werden. Es wurden auch bei hohen Anteilen von Sommergetreide im S-ZF Gemenge keine Probleme durch Übertragung von Pflanzenkrankheiten beobachtet.

Die Ergebnisse der Versuche und des Praxisanbaus legen die Schlussfolgerung nahe, dass auch bei S-ZF auf eine bedarfsgerechte Nährstoffversorgung zu achten ist. Einerseits ist durch Bilanzierung von Düngung und Entzug durch die Hauptkultur zumindest grob abzuschätzen, welche Mengen an Stickstoff bei Anbau der S-ZF im Boden verblieben sind. Auf Flächen, auf denen der Ertrag der Hauptkultur deutlich über der Ertragserwartung lag, ist die Düngung der S-ZF entsprechend zu erhöhen. Auf Flächen, auf denen der Ertrag unter dem erhofften Ertrag geblieben ist, wäre auf eine Düngung der S-ZF unter Umständen ganz zu verzichten, insbesondere dann wenn Leguminosen im S-ZF Gemenge enthalten sind. Ver-

bleibt Getreidestroh auf der Fläche ist auch der N-Bedarf für die Strohrotte zu berücksichtigen und die spätere N-Freisetzung bei der Düngung von Wintergetreide.

Die Düngung der S-ZF sollte auf den erwarteten Bedarf abgestimmt werden und bei Leguminosen im Gemenge entsprechend reduziert werden. Wie bei der Hauptkultur ist auch nach der S-ZF-Ernte zu bilanzieren, ob eine Herbsdüngung von Wintergetreide oder ggf. nachfolgender W-ZF erforderlich ist. Der Stickstoffentzug von S-ZF variiert jedoch beträchtlich und kann aus der Kombination von Ertrag und Entwicklungsstadium der Pflanzen nur grob abgeschätzt werden. Bei S-ZF kann der N-Gehalt bei 4 % liegen, wenn ein hoher Anteil von Leguminosen im S-ZF-Gemenge vorhanden ist oder wenn die Ernte in einem frühen Entwicklungsstadium vor oder zu Beginn der Blüte nach spätem Anbau Ende Juli / Anfang August erfolgt. In diesen Fällen können dem Boden schon mit einem Ertrag von 2 t TS/ha ca. 70 kg N entzogen werden. Bei einer Leguminosen-ZF wäre jedoch die N-Fixierung gegenzurechnen (Fixierung von ca. 35 kg N/ha und t Leguminosen TS). Bei frühem Anbau, Verzicht oder Ausfall von Leguminosen, sparsamer Düngung (ca. 10 m³ Biogasgülle) und Erreichen der Samenreife durch die S-ZF sinkt der N-Gehalt auf bis zu 1 % ab, sodass der N-Entzug bei einem Ertrag von 6 t TS/ha ebenfalls bei ca. 70 kg N/ha liegen kann. Wenn die S-ZF noch nicht die Samenreife erreicht hat (z. B. Sonnenblumen noch in voller Blüte), Leguminosen enthalten sind und mit ca. 25 m³ Biogasgülle gedüngt wurde, ist jedoch eher mit N-Gehalten von ca. 2 % zu rechnen, sodass bei einem Ertrag von 6 – 8 t TS auch ein Entzug von 120 bis 160 kg N/ha zustande kommen kann. Insbesondere auf überdurchschnittlich auswaschungsgefährdeten Standorten ist es deshalb empfehlenswert, eine repräsentative Pflanzenprobe auf den N-Gehalt analysieren zu lassen und ggf. auch eine Bodenprobe auf ihren N_{min}-Gehalt untersuchen zu lassen. Bei hohen N-Entzügen und niedrigen N-Gehalten in Böden wäre eine entsprechende Düngung zum Anbau der Winterung erforderlich, um Ertragseinbußen zu vermeiden. Bei niedrigen Entzügen und gut entwickelten Leguminosen im S-ZF-Gemenge kann hingegen in der Regel auf eine Düngung im Herbst verzichtet werden, insbesondere dann, wenn vor der S-ZF das Getreidestroh auf der Fläche verblieben ist und im Herbst schon weitgehend verrottet ist.

Zu bedenken ist jedenfalls, dass eine Herbsdüngung, die den Pflanzenbedarf deutlich überschreitet, das Risiko von Nitratauswaschung und/oder Lachgasemissionen deutlich erhöht. Zur Sicherung der positiven Umwelt- und Wasserschutzeffekte sollte darüber hinaus auf den Einsatz von Pflanzenschutzmitteln und Mineraldünger zur ZF verzichtet werden.

Auf biologisch bewirtschafteten Flächen sollten S-ZF vor Erreichen der Samenreife beerntet werden, damit eine Verunkrautung der Folgekultur durch ausgefallene Samen von S-ZF vermieden wird. Bei pflugloser und/oder biologischer Bewirtschaftung können auch winterharte Arten (z. B. Gräser) in S-ZF-Gemengen zum Problem in Folgekulturen werden. Es sollte deshalb entweder auf Gräser verzichtet werden oder entsprechendes Management zur Vermeidung von Problemen erfolgen.

15.6.5 Biogas aus W-ZF in der praktischen Anwendung

Der Anbau von W-ZF, auf die Kulturen zur Nahrungs- oder Futtermittelerzeugung folgen, wurde auf ganzen Schlägen nur von einzelnen Biogasanlagenbetreibern praktiziert, da Ertragseinbußen der auf die W-ZF folgenden Hauptfrüchte befürchtet werden. Von Biogas-

anlagenbetreibern wird Grünschnittroggen oft erst in der zweiten Maihälfte beerntet, um danach Hirse anzubauen, die ebenfalls für die Biogaserzeugung genutzt wurde. Diese Art der Grünschnittroggennutzung wurde im Projekt nicht berücksichtigt, da sie nicht mit dem primären Ziel der Vermeidung von Flächenkonkurrenz vereinbar ist.

Aus diesem Grund wurden die Aktivitäten zur Nutzung von W-ZF unter Vermeidung von Ertragseinbußen bei Folgekulturen intensiviert und Workshops in Meggenhofen (OÖ), Leibnitz (STMK), Güssing (Bgld) und Wien mit zwei erfahrenen Praktikern, Werner Rück und Robert Wieser, organisiert. Sie düngen Grünschnittroggen auch im Herbst und berichteten von Erträgen über 5 t TS in den letzten April/ersten Maitagen. Trotz angeregter Diskussionen blieb das Interesse für die praktische Umsetzung angesichts der wirtschaftlichen Rahmenbedingungen überschaubar.

W-ZF haben auch mit dem Dilemma zu kämpfen, dass sie bei niedrigen Mais-Preisen wenig konkurrenzfähig sind. Bei hohen Mais-Preisen hingegen wollen Praktiker eher nur dann ein Risiko von Ertragseinbußen in Kauf nehmen, wenn entsprechende Einnahmen mit ZF erzielt werden können. In den letzten Jahren kam hinzu, dass Berater in der Steiermark empfehlen, Mais wegen des Maiswurzelbohrers so früh wie möglich anzubauen, damit die Blüte möglichst abgeschlossen ist, bevor größere Fraßschäden auftreten. Gleichzeitig wird wegen der Verschärfung von Problemen im Maisanbau nach Alternativen gesucht und der Anbau von Körnerhirse als Ersatz für Körnermais ausgebaut. Daraus ergibt sich auch eine Perspektive für die W-ZF Nutzung, denn für Körnerhirse wird ein Anbau frühestens ab Anfang Mai empfohlen.

15.6.6 Management, zeitgerechte Arbeitserledigung, Bedarf an zusätzlicher Technik/Personal

Eine weitere Herausforderung bei der W-ZF-Nutzung ist das Management. Bei unbeständiger Witterung muss gewährleistet werden, dass in den Zeitfenstern zwischen den Niederschlägen nicht nur die Beerntung der ZF, sondern auch der Anbau der nachfolgenden Hauptkultur, bei Mais einschließlich Gülledüngung, durchgeführt wird. Bei Betrieben, die nicht nur bei der Beerntung, sondern auch beim Anbau auf Fremdleistungen durch Kollegen, Lohnunternehmer oder den Maschinenring angewiesen sind, kann dies zu Problemen führen, weil Gülleausbringung oder Maisanbau nicht so kurzfristig organisiert werden können. In Bruck an der Leitha war es beispielsweise unmöglich eine Gülleausbringung zum späteren Maisanbau zu organisieren, weil in der gesamten Region keine Güllefässer verfügbar sind und der Gülletrack für die Düngung einzelner Flächen nicht finanzierbar ist. Voraussetzung für eine erfolgreiche Anwendung in der Praxis ist deshalb eine entsprechende Ausstattung des Biogasanlagenbetreibers für Ernte, Gülleausbringungs-, Bodenbearbeitungs- und Anbautechnik oder sehr verlässliche Kooperationen mit Kollegen. In diesem Zusammenhang stellt das Investitionsrisiko eine weitere Hürde dar, denn häufig ist die erforderliche oder optimal geeignete Technik nicht verfügbar oder ihre Anschaffung mit entsprechenden Kosten und Risiken verbunden. Deshalb muss zu Beginn oft als Notlösung vorhandene Technik eingesetzt werden (Bodenbearbeitung, Gülleeinarbeitung und Anbau mit 2 oder mehreren Arbeitsgängen statt Mulch- oder Direktsaattechnik; Mähen und Schwaden in 2 Arbeitsgängen statt eines Mähwerks mit Kollektor; Beerntung mit praxisüblicher Häckslerkette).

Die Beerntung von W-ZF unmittelbar vor dem Anbau der Folgekultur erleichtert in der Regel den Einsatz von Direkt- und Mulchsaattechnik, weil das Risiko einer Frühverunkrautung wesentlich geringer ist. Andererseits ließe sich durch Mulch- und Direktsaat das Erosionsrisiko bei Mais, Kürbis und Soja beträchtlich verringern.

Je nach betrieblicher Konstellation wird in entsprechendem Maße zusätzliches Personal und/oder zusätzliche Technik benötigt werden, um erfolgreich W-ZF beernten und unmittelbar danach eine Folgekultur anbauen zu können. Es ist nicht ohne weiteres möglich, wie bei Mais nach Schwarzbrache, auf Dienstleistungen durch Maschinenringe zurückzugreifen. Und es wird in der Regel zumindest eine Person erforderlich sein, die sowohl über pflanzenbauliches Wissen als auch die Managementfähigkeiten verfügt, die anstehenden Anforderungen zu bewältigen.

15.6.7 Auswirkungen von W-ZF auf nachfolgende Hauptkulturen

In den bisherigen Versuchen wurde festgestellt, dass negative Effekte der W-ZF-Nutzung auf die Nahrungs- und Futtermittelerzeugung weitgehend vermieden werden können, wenn W-ZF und nachfolgende Hauptkultur bedarfsgerecht gedüngt und schon Ende April bzw. Anfang Mai beerntet werden. Auf Standorten mit relativ geringem Wasserspeichervermögen kann es bei Ausbleiben ausreichender Niederschläge jedoch zu Ertragseinbußen kommen. Da in diesen Fällen in der Regel auch das Ertragspotenzial der W-ZF niedrig ist, sollte vor dem Beginn der Hauptwachstumsphase der W-ZF entschieden werden, sie zu mulchen und zur Gründüngung zu nutzen. In Gebieten mit unzureichender Grundwasserneubildung ist darüber hinaus zu berücksichtigen, dass ZF dieses Problem weiter verschärfen können.

15.6.8 Demoversuch zur S-ZF und W-ZF mit Maschinenvorfürhrungen 2012

In Zusammenarbeit mit der landwirtschaftlichen Fachschule Güssing und Bio-Austria wurde Ende Juni 2012 nach Wintergerste eine Maschinenvorführung zum Anbau von S-ZF mit verschiedenen Grubbern und Kurzscheibeneggen mit Saatkasten, wie sie für den ZF-Anbau genutzt werden, durchgeführt. Diese Geräte gewährleisteten sehr kostengünstig in einem Arbeitsgang Stoppelsturz, Gülleeinarbeitung und Anbau. In trockenen Jahren wie 2012 und 2013 wird wegen der suboptimalen Ablage des Saatgutes die ZF-Entwicklung jedoch zusätzlich erschwert und die ZF unter Umständen durch Auflaufgetreide, das nicht abstirbt, verdrängt. Deshalb ist es in Gebieten mit höherem Risiko von Sommertrockenheit sinnvoller, Mulchsaat- oder Direktsaattechnik einzusetzen, mit der eine bessere Saatqualität bei geringfügig höheren Kosten erreicht werden kann.

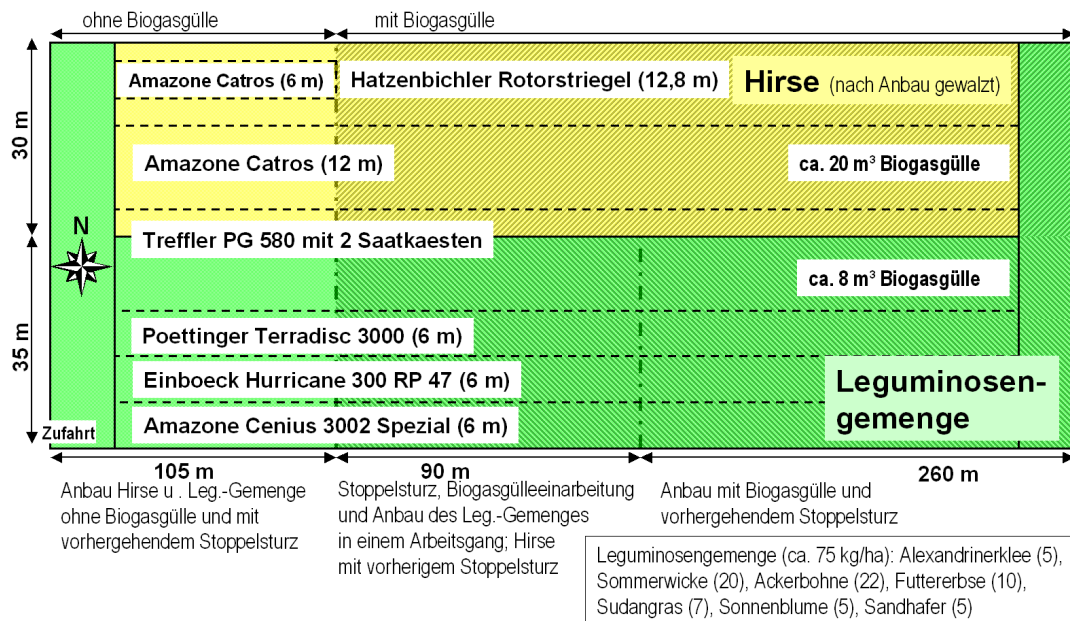


Abb. 59 Lageplan der Demoversuchsfläche in Urbersdorf bei Güssing

Neben unterschiedlichen Geräten wurde im Versuch Hirse (mit 20 m³ Biogasgülle gedüngt) mit dem Leguminosengemenge BIOGASMIX (mit 8 m³ Biogasgülle angedüngt) verglichen. Bei Hirse und einer Teilfläche von BIOGASMIX wurde die Biogasgülle schon vor dem Anbau eingegrubbert. Auf einer Teilfläche erfolgten Stoppelsturz, Gülleearbeitung und Anbau in einem Arbeitsgang. Hirse erzielte im Durchschnitt einen Ertrag von ca. 5 t TS/ha. BIOGASMIX erreichte im Durchschnitt knapp 7 t TS/ha, der Streifen mit Pöttinger Terradisc sogar 9 t TS/ha. Der Bestand von BIOGASMIX wurde trockenheitsbedingt stark von der enthaltenen Sudangrashybride und Sonnenblumen dominiert. Leguminosen waren fast komplett ausgefallen. Es gab keine Ertragsunterschiede zwischen den Teilen, bei denen die Gülle schon vor dem Anbau in einem separaten Arbeitsgang eingearbeitet wurde. Auf der Teilfläche ohne Düngung waren die Erträge deutlich niedriger als mit Düngung. Andere Flächen im Raum Güssing, die nur wenige Tage später und ohne Biogasgülle angebaut wurden, konnten diese Erträge nicht erreichen.

Die im Gemenge enthaltenen Sonnenblumen kamen bis zur Ernte am 3. Oktober schon zur Abreife. Ausgefallene Samen führten zur Verunkrautung beim biologischen Maisanbau im Folgejahr. Auf Bioflächen sollten S-ZF deshalb unbedingt rechtzeitig vor Erreichen der Samenreife beerntet werden, damit ausfallende Samen nicht zu einem Unkrautproblem bei der nachfolgenden Hauptkultur werden.

Am 3. 10. 2012 wurde auf dieser Demofläche erneut eine Maschinenvorführung durchgeführt. Neben Anbautechnik wurden auch verschiedene Mähwerke, davon eines mit Aufbereiter und Kollektor sowie ein Kurzschnittladewagen vorgeführt. Es wurde gezeigt, wie auf einem 3 ha Schlag binnen ca. 3 Stunden ZF-Ernte und Anbau der Folgekultur erfolgen können. In Güssing wurde als Folgekultur eine W-ZF (Grünschnittroggen, Inkarnatklee, Winterwicke, Wintererbse) angebaut, die nur im Frühjahr zu Vegetationsbeginn gedüngt wurde. Die Beerntung der gut entwickelten S-ZF entzog dem Boden ca. 70 kg N/ha, ohne N nachzuliefern, weil die Leguminosen ausgefallen waren. Gedüngt wurden jedoch nur 8 m³ Biogasgülle mit ca. 30 kg N/ha. Die unzureichende Nährstoffversorgung dürfte deshalb

neben massivem Wildschaden und Verschlämmung eine der Hauptursachen für die schlechte Entwicklung der W-ZF im Herbst und Winter gewesen sein, die trotz Düngung im Frühjahr nicht mehr aufgeholt werden konnte. Der Bestand entwickelte sich sehr heterogen, blieb teilweise lückig und erreichte trotz später Ernte nur Erträge unter 3 - 4 t TS/ha.

Dieses Ergebnis und die Ertragssteigerungen von Grünschnittroggen, die im Versuch Pölla mit Herbstdüngung erzielt werden konnten, legen die Schlussfolgerung nahe, dass auch bei S-ZF und nachfolgendem Wintergetreide auf eine bedarfsgerechte Düngung zu achten ist. Auch S-ZF ohne Leguminosen und ausreichende Düngung führen offensichtlich zu Ertragseinbußen bei der Folgekultur, wenn diese im Herbst nicht ausreichend mit Nährstoffen versorgt wird.

Nach der ZF- am 9. Mai wurde am 10. Mai Mais angebaut. Es kam zu einer starken Verunkrautung mit Sonnenblume. Wegen der extremen Trockenheit wurde der Mais-Sonnenblumenbestand allerdings wie alle anderen Maisflächen der Landwirtschaftlichen Fachschule Güssing schon am 5.8. beerntet.

15.6.9 S-ZF-Mischungen für Anbau mit zwei Saatkästen

BIOGASMIX ist seit 2013 im Landhandel oder bei Genossenschaften erhältlich.

Zusammensetzung: Alexandrinerklee (9 %), Peluschke/Futtererbse (43 %), Sommerwicke (28 %), Sudangras (11 %), Sonnenblume (8 %), Phacelia (1 %) (% Saatgutgewicht)

Bei einer Saatstärke von 60 kg/ha liegt der Richtpreis inkl. UST bei 115 Euro/ha.

Das Gemenge darf maximal in 2 – 3 cm Tiefe abgelegt werden, damit die feinkörnigen Samen auflaufen können. Der Anbau von grobkörnigen Leguminosen in dieser geringen Tiefe ist vor allem bei trockener Witterung nicht optimal. Deshalb wurden grob- und feinkörnige Samen auch in separaten Mischungen zusammengestellt, damit sie mit zwei Saatkästen in optimale Ablagetiefe angebaut werden können. Zusätzlich ergibt sich dadurch die Möglichkeit, den Anteil grobkörniger Leguminosen selbst festzulegen. Die Kombination von 40 kg grobkörniger Leguminosen mit 16 kg der feinkörnigen Mischung früh entspricht in etwa der Zusammensetzung von BIOGASMIX und sollte spätestens Ende Juli angebaut werden. Ergänzend wurde eine zweite feinkörnige Mischung spät mit Kruziferen für den späteren Anbau Ende Juli bis Mitte August bereitgestellt.

„Biogasgemenge früh“ feinkörnig

Alexandrinerklee (30 %), Sudangras (35 %), Phacelia (5 %), Mungo (5 %), Sonnenblume (25 %) (% Saatgutgewicht)

Aussaat bis Mitte/Ende Juli; Aussaatmenge als alleinige Zwischenfrucht 25 kg je ha

„Biogasgemenge spät“ feinkörnig

Perserklee (20 %), Gelbsenf (5 %), Ölrettich (18 %), Sandhafer (15 %), Sommertriticale (18 %), Buchweizen (25 %) (% Saatgutgewicht)

Aussaat Ende Juli bis Mitte August; Aussaatmenge als alleinige Zwischenfrucht 40 kg je ha

„Bienenweide mit Körnerleguminosen“

Ackerbohne (16 %), Futtererbse/Peluschke (24 %), Sommerwicke (24 %), Pigmentplatterbse (16 %), Körnererbse (20 %) (% Saatgutgewicht)

Aussaat bis Anfang August; Aussaatmenge: 125 kg je ha als alleinige Zwischenfrucht

Tab. 60 Beispiele für Kombinationen der Gemenge (Angabe benötigter Saatgutpackungen für den Anbau auf 5 ha):

Anbauzeitraum	bis Ende Juli						Ende Juli				Ende Juli bis Mitte August					
Kombination	früh 1			früh 2			mittel				spät 1			spät 2		
	groß	fein früh	gesamt	groß	fein früh	gesamt	groß	fein früh	fein spät	gesamt	groß	fein spät	gesamt	groß	fein spät	gesamt
kg/ha	40	16	56	20	20	40	20	8	20	48	35	28	63	20	36	56
Anzahl Pkg. / 5 ha	8	4		4	5		4	2	5		7	7		4	9	

Die kombinierbaren Saatgutmischungen können nur direkt über die Saatbau Linz bezogen werden. Die Preise gelten nur für Projektbetriebe im Rahmen des Versuchsanbaus für das Projekt Syn-Energy II. In den Saatgutpreisen ist bereits eine Aufwandsentschädigung für die Dokumentation des Anbauerfolgs enthalten.

15.6.10 Auswirkungen der Beerntung von S-ZF auf den ÖPUL-Förderanspruch

Aktennotiz zum Telefonat mit ÖPUL-Referatsleiter Dipl.-HLFL-Ing. Johannes Kneissl von der AMA am 11.8.2014

Hintergrund des Telefonats:

Landwirte befürchten, dass sie den Anspruch auf ÖPUL-Förderung für

Sommerzwischenfrüchte (frühester Umbruch am 15.10. bzw. 15.11.) verlieren, wenn die Zwischenfrucht witterungsbedingt vor dem frühest zulässigen Umbruchtermin beerntet wird.

Der Hinweis auf Seite 8 im Infoblatt zum ÖPUL-2015 („Die Nutzung (Mahd und Abtransport) ... der angelegten Begrünung ist erlaubt, sofern eine flächendeckende Begrünung erhalten bleibt.“ Stand August 2014) ist nicht ausreichend, um diese Befürchtung zu zerstreuen.

Unter folgenden Voraussetzungen bleibt der Förderanspruch trotz Beerntung vor dem frühest zulässigen Umbruchtermin erhalten

- Die Erreichung der Maßnahmenziele muss gewährleistet werden:
 - Reduktion der Nährstoffauswaschung in das Grundwasser und des Nährstoffaustrages in Oberflächengewässer
 - Schutz des Bodens vor Wind- und Wassererosion
 - Beitrag zur Verbesserung der Biodiversität.
- Für den Nachweis der Maßnahmenzielerreichung ist nicht nur der Zeitpunkt der Kontrolle ausschlaggebend. Es können auch andere Nachweise für das zielgerechte Vorgehen (z. B. Rechnungen für Saatgut und Anbau) vorgelegt werden.
- Die Begrünung sollte nicht zu tief gemäht werden:
 - Wird ein bis zwei Wochen nach Beerntung der Zwischenfrucht Wintergetreide angebaut, dienen die Stoppeln der Zwischenfrüchte in erster Linie der Bestandsdokumentation. Es ist nicht erforderlich, auf die Beerntung einer Teilfläche aus Gründen des Nachweises zu verzichten.
 - Wird die nachfolgende Hauptkultur erst im Frühjahr oder das Wintergetreide erst mehrere Wochen nach Beerntung der Zwischenfrucht angebaut, muss eine ausreichende Bodenbedeckung sichergestellt werden, z. B. in dem zumindest

einzelne Gemengepartner des Zwischenfruchtgemenges (Klee, Gras, Wicken, etc.) weiterwachsen.

- *Eine Zeitspanne mit geringerer Bodenbedeckung nach der Beerntung kann dadurch kompensiert werden, dass die Zwischenfrüchte nachweislich unmittelbar nach der Ernte von Getreide oder Raps angebaut werden und dadurch eine bessere Bestandsentwicklung und Zielerreichung gewährleisten, als bei spätestens zulässigem Anbau am 31.7. bzw. 20.8.*
- *Sollten witterungsbedingt einzelne Gemengepartner ausfallen (z. B. Körnerleguminosen bei Trockenheit), wird dies bei der Kontrolle berücksichtigt, wenn der Anbau mit der Saatgutrechnung nachgewiesen werden kann.*

Aktennotiz erstellt von Manfred Szerencsits am 11.8.2014

Von: oepul <oepul@ama.gv.at>

Betreff: AW: Beerntung von Sommerzwischenfrüchten

Datum: 13 Aug 2014

15.6.10.1.1.1.1.1 Sehr geehrter Herr Dipl.-Ing. Dr. Szerencsits!

Ihre Dokumentation zum Telefonat mit Hrn. Dipl.-HLFL-Ing. Kneissl betreffend Begrünungen im Rahmen der ÖPUL 2015-Maßnahmen „Begrünung von Ackerflächen – Zwischenfruchtanbau“ und „Begrünung von Ackerflächen - System Immergrün“ ist gemäß dem derzeitigen Programmmentwurf richtig.

Wir weisen darauf hin, dass Auskünfte über maßnahmenbezogene Förderungsvoraussetzungen des ÖPUL 2015 vorbehaltlich der Genehmigung bzw. sonstiger Änderungserfordernisse gelten.

Mit freundlichen Grüßen

ÖPUL-Hotline/WE

15.7 Abschätzung volkswirtschaftlicher Effekte

Im Rahmen des Projektes konnten keine eigenen Analysen von Beschäftigungs- und Wertschöpfungseffekten durchgeführt werden. Deshalb wurde für eine erste Abschätzung der Größenordnungen, die mit Biogas aus ZF erzielbar sind, auf die Analysen des IHS Kärnten zurückgegriffen, die im Auftrag der E-Control im Jahr 2007 abgeschlossen wurden (Siehe Bodenhöfer et al. 2007). Diese Analysen ergaben, dass mit Biogas nach Abzug der Einkommensentzugseffekte, die durch die höhere Vergütung des erzeugten Stroms bedingt werden, die höchsten Beschäftigungseffekte erzielbar waren, auch im Vergleich zur thermischen Verwertung von Holz oder der Kleinwasserkraft (KWKW). Für die Bereitstellung einer GWh aus Biogas ergaben sich Brutto 3,4 Arbeitsplätze und Netto je nach Strompreis 2,1 bis 2,4 Vollzeitäquivalente. Für Fotovoltaik wäre für einen Vergleich am dringendsten eine Aktualisierung der Berechnungen erforderlich, weil sich hier die Einspeisetarife am stärksten verändert haben.

Tab. 61 Beschäftigungseffekte der Bereitstellung von 1 GWh elektrischer Energie aus erneuerbaren Quellen in Personenjahren (Vollzeitäquivalente); Anrechnung des Investitionen auf 12 Jahre; Biogasanlage mit 290 kW_{el}. (IHS Kärnten 2007)

Angaben in Personen- jahren (Vollzeit- äquivalente)	Ein- speise- -tarif	Investi- tions- effekt	Betriebs- effekt	Gesamteffekt Brutto		Einkommens- entzugseffekt bei Strompreis von 5 c/kWh			Einkommens- entzugseffekt bei Strompreis von 6,5 c/kWh		
	c/kWh	einmalig	pro Jahr	12 Jahre	pro Jahr	12 Jahre	12 Jahre	pro Jahr	12 Jahre	12 Jahre	pro Jahr
Windkraft	7,55	2,7	0,3	5,9	0,5	-6	-0,1	0	-4,2	1,8	0,2
Fotovoltaik	40	44	0,4	48,5	4	-58,5	-10	-0,8	-55,8	-7,3	-0,6
KWKW		7	0,1	8,2	0,7	0	8,2	0,7	0	8,2	0,7
Biomasse	11,74	6,2	1	17,8	1,5	-11,5	6,3	0,5	-8,8	9	0,8
Biogas	14	5,5	2,9	40,5	3,4	-15	25,5	2,1	-12,3	28,2	2,4

Hinsichtlich der Wertschöpfung war Biogas in etwa mit der Kleinwasserkraft vergleichbar und übertraf nur die Windkraft. In Abhängigkeit von den Einkommensentzugseffekten ist sie etwas niedriger als die Verwertung fester Biomasse und erreicht 50.000 – 70.000 €/GWh_{el}.

Tab. 62 Wertschöpfungseffekte der Bereitstellung von 1 GWh elektrischer Energie aus erneuerbaren Quellen in 1000 €; Anrechnung des Investitionen auf 12 Jahre; Biogasanlage mit 290 kW_{el}. (IHS Kärnten 2007)

Angaben in 1000 €	Investitions- effekt	Betriebs- effekt	Gesamt- effekt Brutto	Gesamt- effekt Brutto	Einkommens- entzugseffekt bei Strompreis von 5 c/kWh			Einkommens- entzugseffekt bei Strompreis von 6,5 c/kWh		
	einmalig	12 Jahre	12 Jahre	pro Jahr	12 Jahre	12 Jahre	pro Jahr	12 Jahre	12 Jahre	pro Jahr
Windkraft	313	279	592	49	-418	175	15	-288	304	25
Fotovoltaik	5787	657	6444	537	-4071	2373	198	-3884	2561	213
KWKW	677	109	786	66	0	786	66	0	786	66
Biomasse	628	1132	1760	147	-798	962	80	-610	1149	96
Biogas	531	1154	1685	140	-1041	644	54	-853	831	69

Quelle: Bodenhöfer H. J., Bliem M. und Weyerstraß K. (2007) Bewertung der volkswirtschaftlichen Auswirkungen der Unterstützung von Ökostrom in Österreich – Eine Aktualisierung, Endbericht. Institut für Höhere Studien (IHS) Kärnten, Klagenfurt; Download unter: <http://www.e-control.at/documents/20903/-/-/a6b5eeba-a947-4c75-98e5-ee5f182f8720> zuletzt abgerufen am 24.3.2015

16 Tabellenverzeichnis

Tab. 1 W-ZF-Erträge (Durchschnitt, min. max. und ungedüngt in t TS/ha), gruppiert nach Ernteterminen und Erträgen. Mit Ausnahme der höheren Erträge in Pölla wurden W-ZF nur im Frühjahr mit ca. 25 m ³ Biogasgülle gedüngt.	11
Tab. 2 Auswirkungen der Biogaserzeugung aus W-ZF auf den Ertrag nachfolgender Hauptkulturen im Vergleich zur gleichen Kultur nach Schwarzbrache (V0) oder Gründüngung (V1) mit gleichen oder früheren Anbau Terminen	12
Tab. 3 Mittelwerte und gewichtete Mittelwerte der Methanerträge bezogen auf organische TS und TS sowie Methanerträge pro ha bei 4,5 t TS/ha	15
Tab. 4 Kosten und Erlöse der Biogaserzeugung aus ZF ohne Berücksichtigung von Fruchtfolgeeffekten	31
Tab. 5 Abschätzung der Beschäftigungs- und Wertschöpfungseffekte der Biogaserzeugung aus ZF auf 50% der Ackerfläche, 60 % Wirtschaftsdünger, 70 % Mais- und Rapsstroh, 10 % Getreidestroh bei Erzeugung von elektrischem Strom mit einem Wirkungsgrad _{el} von 40 % auf Basis der Berechnungen des IHS Kärnten 2007	37
Tab. 6 Fruchtfolgen mit ZF für die Biogaserzeugung auf den Streifenversuchen.....	41
Tab. 7 Niederschlag, Ackerzahlen und bodenphysikalische Eigenschaften der Feldversuchsstandorte	41
Tab. 8 Versuchsdesign Streifenversuch Güssing (V0 ohne ZF, V1 ZF zur Gründüngung gemulcht; V2 – V7 und FG für Biogaserzeugung beerntet)	42
Tab. 9 Erträge von Hauptkulturen und Zwischenfrüchten der Standorte Schönabrunn und Rohrau.....	50
Tab. 10 Erträge und Anbau Termine von Zwischenfrüchten und Hauptkulturen auf den Versuchsflächen in Güssing einschließlich Ergebnisse der Ergebnisse des Vorgängerprojektes Syn-Energy I.....	51
Tab. 11 Erträge und Anbau Termine von Zwischenfrüchten und Hauptkulturen auf den Versuchsflächen in Hasendorf (Leibnitz), Ottstorf (Thalheim/Wels), Pölla (Mank), Schönabrunn/Rohrau (Bruck/Leitha) einschließlich Ergebnisse der Ergebnisse des Vorgängerprojektes Syn-Energy I.....	52
Tab. 12 Beispiele von Fruchtfolgen für Biogas aus ZF mit jährlich einer ZF-Ernte.....	53
Tab. 13 Methangehalte bezogen auf organische TS und TS sowie Methanerträge pro ha von W-ZF und S-ZF; Ermittlung der CH ₄ -gehalte in Batchgärversuchen mit zweifacher Wiederholung und Vergleich mit errechneten Methanerträgen aus Futterwertanalysen nach BASERGA	54
Tab. 14 Varianten für die Berechnung der Humusbilanzen der Muster-Feldfrüchte.....	59
Tab. 15 Boden- bzw. Standortvarianten für die Humusbilanzberechnung der Muster-Feldfrüchte	59
Tab. 16 Muster-Feldfrucht Weizen. Humusbilanzsalden (kg Humus-C/ha/J)	59
Tab. 17 Muster-Feldfrucht Mais. Humusbilanzsalden (kg Humus-C/ha/J)	60
Tab. 18 Fruchtfolge Versuch Hasendorf.....	60
Tab. 19 Organische Düngung Versuch Hasendorf.....	60
Tab. 20 Versuch Hasendorf (Stmk). Humusbilanzsalden (kg Humus-C/ha/J).....	61
Tab. 21 Fruchtfolge Versuch Güssing	61
Tab. 22 Organische Düngung Versuch Güssing	62
Tab. 23 Versuch Güssing (Bgld). Humusbilanzsalden (kg Humus-C/ha/J)	62
Tab. 24 Fruchtfolge Versuch Thalheim.....	63
Tab. 25 Organische Düngung Versuch Thalheim.....	63
Tab. 26 Versuch Thalheim (OÖ). Humusbilanzsalden (kg Humus-C/ha/J)	63
Tab. 27 Fruchtfolge Versuch Rohrau	64

Tab. 28 Organische Düngung Versuch Rohrau.....	64
Tab. 29 Versuch Rohrau (NÖ). Humusbilanzsalden (kg Humus-C/ha/J)	65
Tab. 30 Fruchtfolge Versuch Schönabrunn.....	65
Tab. 31 Organische Düngung Versuch Schönabrunn	65
Tab. 32 Versuch Schönabrunn (NÖ). Humusbilanzsalden (kg Humus-C/ha/J).....	65
Tab. 33 Mais-Fruchtfolge.....	66
Tab. 34 Mais-Fruchtfolge. Humusbilanzsalden (kg Humus-C/ha/J)	66
Tab. 35 $N_{\min_gesamt}$ Mittelwerte der Varianten [kg/ha]	68
Tab. 36 $N_{\min_gesamt}$ Mittelwerte der Varianten [kg/ha].....	70
Tab. 37 Trockensubstanzerträge von Grünschnittroggen und Silomais t TS/ha	72
Tab. 38 Eingangsdaten STOTRASIM zur Anpassung des Modells an Messergebnisse der Standorte Ottstorf und Güssing für die Varianten V0 ohne ZF; V1 ZF gemulcht; V2 und V3 ZF beerntet mit unterschiedlicher Bodenbearbeitung	74
Tab. 39 Eingangsdaten STOTRASIM zur Anpassung des Modells an Messergebnisse der Standorte Hasendorf, Pölla, Schönabrunn für die Varianten V0 ohne ZF; V1 ZF gemulcht; V2 und V3 ZF beerntet mit unterschiedlicher Bodenbearbeitung	75
Tab. 40 Eingangsdaten für die Modellierung einheitlicher Fruchtfolgen auf 5 Versuchsstandorten	76
Tab. 41 Mit dem Modell ermittelte Stickstofffixierungsleistungen von Soja auf den 5 Versuchsstandorten	77
Tab. 42 Modellierungsergebnisse: Grundwasserneubildung, N-Austrag, N-Konzentration im Sickerwasser.....	77
Tab. 43 Eingangsdaten zur Abschätzung der Lachgasemissionen Güssing Teil 1	79
Tab. 44 Eingangsdaten zur Abschätzung der Lachgasemissionen Güssing Teil 2	80
Tab. 45 Eingangsdaten zur Abschätzung der Lachgasemissionen Hasendorf bei Leibnitz Teil 1.....	81
Tab. 46 Eingangsdaten zur Abschätzung der Lachgasemissionen Hasendorf Teil 2.....	82
Tab. 47 Eingangsdaten zur Abschätzung der Lachgasemissionen Rohrau, Schönabrunn, Ottstorf bei Thalheim/Wels	83
Tab. 48 Modellerte Lachgasemissionen während der Zwischenfrucht-Periode in kg N_2O /ha und Jahr.....	84
Tab. 49 Bodenbearbeitungs-, Saat- u. Erntetermine von S-ZF u. Winterweizen für die Erosionsberechnung mit BoBB.....	85
Tab. 50 Bodenbearbeitungs-, Saat- und Erntetermine von W-ZF und Mais für die Erosionsberechnung mit BoBB	85
Tab. 51 jährliche Erosion bei Winterweizen ohne S-ZF und Pflug, mit S-ZF zur Gründung und Pflug sowie S-ZF beerntet für Biogas mit und ohne Pflug und Silomais ohne W-ZF und Pflug, mit W-ZF zur Gründung und Pflug sowie W-ZF beerntet für Biogas mit und ohne Pflug in t/ha und Jahr bei einer durchschnittlichen Hangneigung von 3%, einer Hanglänge von 100m und einer Schlaggröße von 1ha.	86
Tab. 52 EROI, Brutto- und Nettoenergieertrag von ZF pro ha.....	87
Tab. 53 Vergleich des Treibstoffbedarfs für Anbau, Düngung, Pflanzenschutz, Ernte und Transport von ZF und Hauptkultur (Mittelwert aus Silomais und Weizen) mit dem Energieertrag von ZF abzüglich Energiebedarf für Biogasanlage (BGA), Biogasaufbereitung und Verdichtung ($1m^3 CH_4 = 1l$ Diesel = 9,972 kWh)	87
Tab. 54 Comparison of net energy return from cover crops (biomethane). rape (biodiesel) and wheat (bioethanol). the distance attainable by car and the provision of food and feed per hectare	88
Tab. 55 Ökologischer Fußabdruck (SPI [m^2 / ha]) von S-ZF (für Biogas oder gemulcht) mit Weizen als Hauptfrucht	92
Tab. 56 Eingangsdaten für die Ermittlung des Ökologischen Fußabdrucks von S-ZF und Weizen	92

Tab. 57 Ökologischer Fußabdruck (SPI [m ² / ha]) von W-ZF (für Biogas oder gemulcht) und Mais als Hauptkultur sowie von Biogaserzeugung aus Mais auf 20% der Ackerfläche sowie aus Maisstroh	93
Tab. 58 Eingangsdaten für die Ermittlung des Ökologischen Fußabdrucks von W-ZF und Mais	94
Tab. 59 Ergebnisse Ertragsermittlung mit Meterschnitten des S-ZF-Gemenges Bruck/Leitha 2013.....	97
Tab. 60 Beispiele für Kombinationen der Gemenge (Angabe benötigter Saatgutpackungen für den Anbau auf 5 ha):	105
Tab. 61 Beschäftigungseffekte der Bereitstellung von 1 GWh elektrischer Energie aus erneuerbaren Quellen in Personenjahren (Vollzeitäquivalente); Anrechnung des Investitionen auf 12 Jahre; Biogasanlage mit 290 kW _{el.} (IHS Kärnten 2007)	107
Tab. 62 Wertschöpfungseffekte der Bereitstellung von 1 GWh elektrischer Energie aus erneuerbaren Quellen in 1000 €; Anrechnung des Investitionen auf 12 Jahre; Biogasanlage mit 290 kW _{el.} (IHS Kärnten 2007).....	107

17 Abbildungsverzeichnis

Abb. 1 Bio-Rotkleeuntersaat im Südburgenland 2011 (ca. 6 t TS/ha).....	9
Abb. 2 W-ZF Mischungen; links: W-Erbse, Grünschnittroggen, Inkarnatklee; rechts zusätzlich mit W-Wicke	10
Abb. 3 Winterrübsen, Inkarnatklee, Winterwicke, Grünschnittroggen.....	10
Abb. 4 BIOGASMIX im Südburgenland; Ertrag am 29.9.2011 ca. 5 t TS /ha bei Anbau in der letzten Juli-Woche12	
Abb. 5 BIOGASMIX nach trockenem Sommer und Anbau am 26.6.2012; Ertrag am 3.10. ca. 7 t TS/ha; Bestandshöhe ca. 1,8m; Leguminosen im Gemenge trockenheitsbedingt größtenteils ausgefallen; Sudangras-Hybrid und Sonnenblume bestandsdominierend	13
Abb. 6 Alexandrinerkleeblüte mit Marienkäfer; Sonnenblume mit Biene und Schmetterling	14
Abb. 7 Humusbilanzsaldo (C kg/ha*a) für S-ZF / Winterweizen, W-ZF / Silomais und im Durchschnitt. Bei Silomais (15 t/ha TM) wurde die Rückführung von 40 m ³ Rindergülle angenommen. Bei Weizen verbleibt das Stroh auf der Fläche.	16
Abb. 8 N ₂ O-Emissionen S-ZF, Weizen (kg N ₂ O-N /ha*a).....	19
Abb. 9 N ₂ O-Emissionen W-ZF, Mais (kg N ₂ O-N /ha*a)	19
Abb. 10 N ₂ O-Emissionen-Mittelwerte S-ZF, W-ZF, Brache, Winterweizen und Silomais (kg N ₂ O-N /ha*a)	19
Abb. 11 Summe N ₂ O-Emissionen von S-ZF und Weizen sowie W-ZF und Mais (kg N ₂ O-N /ha*a)	19
Abb. 12 jährliche Erosion in t/ha bei Winterweizen ohne S-ZF und Pflug, mit S-ZF zur Gründung und Pflug sowie S-ZF beerntet für Biogas mit und ohne Pflug (Neigung 3 %, Länge 100 m, Größe 1ha).....	20
Abb. 13 jährliche Erosion in t/ha bei Silomais ohne W-ZF und Pflug, mit W-ZF zur Gründung und Pflug sowie W-ZF beerntet für Biogas mit und ohne Pflug und unterschiedlicher Biomassebildung (Neigung 3 %, Länge 100 m, Größe 1ha)	20
Abb. 14 Stickstoffaustrag und Nitratkonzentration in Fruchtfolgen mit S-ZF/Schwarzbrache und Wintergetreide/Raps sowie mit W-ZF/Schwarzbrache und Mais/Soja/Kürbis; arithmetisches Mittel beider Fruchtfolgevarianten	21
Abb. 15 Brutto und Netto-Methanerträge von 2,5, 4,5 und 6,0 t ZF-TM und EROI; Netto-Erträge nach Verdichtung von Biomethan auf ca. 250 bar	22

Abb. 16 Vergleich des Treibstoffbedarfs für Anbau, Düngung, Pflanzenschutz, Ernte, Transport von Hauptkultur und ZF mit dem Energieertrag von ZF (Energiebedarf für die Biogasanlage, Biogasaufbereitung und Verdichtung bereits abgezogen)	22
Abb. 17 Vergleich der Fahrleistungen, die mit dem Brutto- und Nettoenergieertrag von ZF (Biomethan), Weizen (Bioethanol) und Raps (Biodiesel) erzielbar sind (7,4l Benzin entsprechen 4,9 kg Biomethan)	23
Abb. 18 Ökologischer Fußabdruck der Erzeugung von S-ZF zur Biogaserzeugung/Gründüngung und Weizen einschließlich der Bereitstellung von Biomethan und Erdgas-Substitution	24
Abb. 19 Ökologischer Fußabdruck der Erzeugung von W-ZF zur Biogaserzeugung/Gründüngung und Mais einschließlich der Bereitstellung von Biomethan und Erdgas-Substitution; ergänzender Vergleich mit der Biogaserzeugung aus Maisstroh sowie aus Mais auf 20 % der Ackerfläche	24
Abb. 20 Mittelwerte der Fußabdrücke von S-ZF/Weizen und W-ZF/Mais mit unterschiedlicher Nutzung der ZF sowie der Hauptkulturen ohne ZF-Anbau	25
Abb. 21 Beispiele für Mulchsaattechnik (Horsch Express und Treffler PG 580 mit 2 Saatkästen)	26
Abb. 22 Mähwerk mit Aufbereiter und Kollektor (Kollektor zu Vorführungszwecken im Rahmen der Maschinenvorführung hochgeklappt)	28
Abb. 23 Kurzschnittladewagen bei der Beerntung von Winter-ZF	28
Abb. 24 schematische Darstellung der synergetischen Bioenergiebereitstellung ohne Nutzungskonkurrenz mit Darstellung der Stoffflüsse und Angabe der Nettoenergiebereitstellung und des Eigenenergiebedarfs für Hauptkultur und ZF sowie technische Anlagen	35
Abb. 25 Steyr-Traktor mit Nachrüstsatz zum Betrieb mit Biomethan/CNG-Anteil von ca. 65 %; Valtra aus Serienproduktion für Betrieb mit Biomethan/CNG-Anteil von ca. 80%	36
Abb. 26 BIOGASMIX Südburgenland 2011 (Foto: Ringhofer)	39
Abb. 27 Syn-EnergyII Versuchsstandorte: Hasendorf/Leibnitz, Güssing, Schönabrunn/Rohrau bei Bruck an der Leitha, Pölla bei Mank und Ottstorf bei Thalheim/Wels	40
Abb. 28 S-ZF Biogasmix; Anbau nach Maisnoternte am 7.8.2014; Verschlammung des schweren Bodens durch Starkregen nach Anbau und nur lückiger Feldaufgang	42
Abb. 29 Silomais-TM-erträge Güssing 28.9.2011 nach unterschiedlichen W-ZF mit und ohne Beerntung (Anbau am 11.5.2011)	42
Abb. 30 W-ZF-TM-erträge Güssing 8.5.2012	43
Abb. 31 Sojaerträge Güssing 2012 bei 9 % Feuchte nach unterschiedlichen W-ZF mit und ohne Beerntung	43
Abb. 32 W-ZF-TM-erträge Güssing 9.5.2013	43
Abb. 33 Silomais-TM-erträge nach trockenheitsbedingter Noternte in Güssing am 5.8.2013; Angabe der vorhergehenden W-ZF-Gemenge mit und ohne Beerntung	43
Abb. 34 W-ZF-TM-erträge Güssing 28.4.2014; geringere Biomassebildung in Block C und der Hälfte von Block B wegen niedrigerer Düngung	44
Abb. 35 Silomais-TM-erträge 2014 im zweiten Jahr der Umstellung auf Biolandbau; teilweise starke Verunkrautung, weil hacken witterungsbedingt nur einmal möglich war	44
Abb. 36 Öl-Kürbis-Kernerträge Hasendorf 2011 nach unterschiedlichen W-ZF mit und ohne Beerntung	45
Abb. 37 W-ZF-Trockenmasseerträge Hasendorf/Leibnitz 2.5.2012	45
Abb. 38 Silomais-Trockenmasseerträge Hasendorf/Leibnitz 2012 mit unterschiedlichen Anbauterminen nach Schwarzbrache, Gründüngung und beernteten W-ZF	45
Abb. 39 W-ZF-TM-Erträge Hasendorf/Leibnitz 13.5.2013	46
Abb. 40 Soja-Erträge (9 % Feuchte) in Hasendorf/Leibnitz 2013 (Anbau 16.5.2013)	46

Abb. 41 W-ZF-Trockenmasseerträge Hasendorf/Leibnitz 29.4.2014	46
Abb. 42 Silomais-Trockenmasseerträge Hasendorf/Leibnitz 2014 nach witterungsbedingt spätem Anbau am 20.5.2014.....	46
Abb. 43 Körnermaiserträge bei 14 % Endfeuchte Ottstorf 2011.....	47
Abb. 44 W-ZF-TM-Erträge Ottstorf Thalheim/Wels am 4.5.2012	47
Abb. 45 Soja-Erträge (9 % Feuchte) in Ottstorf Thalheim/Wels 2012	47
Abb. 46 Grünschnittroggen-TS-Erträge am 2.5.2014 nach unterschiedlicher Düngung im Herbst und einheitlicher Düngung mit 30 m ³ Biogasgülle im Frühjahr.....	51
Abb. 47 Silomais-TS-erträge nach Grünschnittroggen am 2.5.2014 mit unterschiedlicher Düngung im Herbst und Nutzung für Biogas, Gründüngung sowie nach Schwarzbrache.....	51
Abb. 48 Vergleich Einarbeitung Zwischenfruchtbiomasse versus Biogasnutzung und Biogasgüllerückführung ...	58
Abb. 49 N _{min_gesamt} Mittelwerte der Varianten in Güssing von 2011 bis 2014 [kg/ha].....	68
Abb. 50 N _{min_gesamt} Mittelwerte der Varianten in Hasendorf bei Leibnitz von 2011 bis 2014 [kg/ha]	69
Abb. 51 N _{min_gesamt} Mittelwerte der Varianten in Ottstorf bei Thalheim/Wels von 2011 bis 2012 [kg/ha].....	69
Abb. 52 N _{min_gesamt} Mittelwerte der Varianten in Rohrau bei Bruck/Leitha von 2011 bis 2014 [kg/ha]	69
Abb. 53 N _{min_gesamt} Mittelwerte der Varianten in Schönabrunn bei Bruck/Leitha von 2011 bis 2014 [kg/ha].....	70
Abb. 54 Ergebnisse der Nmin Untersuchungen am Standort in Pölla	71
Abb. 55 Biomassebildung von Grünschnittroggen bis 21.11.2013 ohne Düngung bzw. mit 15 oder 25 m ³ Biogasgülle Anfang Oktober	72
Abb. 56 Nitratkonzentrationen im Sickerwasser der Varianten, in denen Zwischenfrüchte für die Biogaserzeugung beerntet wurden.....	73
Abb. 57 Ermittelter Bedeckungsgradverlauf bei Winterzwischenfrüchten auf den Versuchsstandorten.....	84
Abb. 58 Schema für die ökologische Bewertung von Haupt- und ZF-Systemen mittels SPI.....	90
Abb. 59 Lageplan der Demoversuchsfläche in Urbersdorf bei Güssing	103

IMPRESSUM

Verfasser

Ökocluster
Steinberg 132, 8151 Hitzendorf
E-Mail: office@oeko-cluster.at
Web: www.oeko-cluster.at

ProjektpartnerInnen

- AGES - Österreichische Agentur für Gesundheit und Ernährungssicherheit GmbH
- Bioforschung Austria
- BioG Biogastechnik GmbH
- Biogas Strem Errichtungs- u. BetriebsGMBH & Co Kg
- Energiepark Bruck/Leitha
- IPPT, TU Graz
- Joanneum Research
- Saatbau Linz
- wpa Beratende Ingenieure

Eigentümer, Herausgeber und Medieninhaber

Klima- und Energiefonds
Gumpendorfer Straße 5/22
1060 Wien
E-Mail: office@klimafonds.gv.at
Web: 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.

Weder der Klima- und Energiefonds noch die Forschungsförderungsgesellschaft (FFG) sind für die Weiternutzung der hier enthaltenen Informationen verantwortlich.

Gestaltung des Deckblattes

ZS communication + art GmbH