



Berichte über Landwirtschaft

Zeitschrift für Agrarpolitik und Landwirtschaft

BAND 93 | Ausgabe 3

Dezember 2015

AGRARWISSENSCHAFT
FORSCHUNG
—
PRAXIS



Evaluierung von Winterzwischenfrüchten vor Mais zur Biogasnutzung

Von CHRISTIAN ANTONIUS MENKE und ROLF RAUBER, Göttingen

1 Einleitung

Die zurückliegenden Jahrzehnte waren vielfach durch eine Einengung der Fruchtfolgen gekennzeichnet. Auch aus diesem Grund wird die Bedeutung der Zwischenfrüchte zunehmend erkannt. Etwa 60 Prozent der Ackerfläche Deutschlands ist mit Winter-Hauptfrüchten, zum Beispiel Wintergetreide, bestellt. Auf mehr als der Hälfte des übrigen Teils wachsen Winterzwischenfrüchte. Winterzwischenfrüchte werden zur Gründüngung, als Tierfutter und zur Energiegewinnung angebaut (4). Die ökologischen Leistungen der Zwischenfrüchte sind unbestritten: Erosionsschutz, Bodenfruchtbarkeit, Humusreproduktion, Unkrautunterdrückung, Grundwasserschutz, Förderung der Biodiversität (20). Die Stickstoff- und hier insbesondere die Nitrataufnahme der Winterzwischenfrüchte ist auch für die Europäische Wasserrahmenrichtlinie relevant (6).

Die agrarpolitischen Vorhaben der aktuellen Strukturreformen in der Landwirtschaft sehen die Schaffung ökologischer Vorrangflächen vor (5). Bei dem sogenannten "Greening" der Direktzahlungen sollen die Landwirte fünf Prozent ihrer landwirtschaftlichen Flächen durch besonders umweltschonende Verfahren bewirtschaften. Alternativ ist es zulässig, dass auch mit dem Anbau von Zwischenfrüchten die geforderten Auflagen zur Schaffung ökologischer Vorrangflächen erfüllt werden und damit die Voraussetzung zur Auszahlung der Betriebsprämien gegeben ist. Die Erzielung der fünf Prozent Flächenvorgabe soll beim Anbau von Zwischenfrüchten jedoch mit einem Flächenmultiplikator (Faktor 0,3) erreicht werden. Es ist davon auszugehen, dass durch diese agrarpolitischen Vorgaben Zwischenfrüchte, auch die Winterzwischenfrüchte, weiter an Bedeutung gewinnen werden.

Es erscheint nicht einfach, die vielfältigen Leistungen der Winterzwischenfrüchte umfassend zu bewerten. Im Folgenden soll hierzu ein erster Ansatz vorgestellt werden. Winterzwischenfrüchte können Nährstoffe, insbesondere Stickstoff, im Herbst aufnehmen. Im Falle von Nitrat wird dadurch eine Verlagerung in tiefere Bodenschichten und letztlich ins Grundwasser verringert. Diese Leistung im Sinne eines biologischen Grundwasserschutzes soll in die Bewertung einfließen. Ferner soll die Möglichkeit, in Biogasfruchtfolgen durch den Anbau von Winterzwischenfrüchten Methan zu erzeugen, bewertet werden. Schließlich soll die Wirkung der Winterzwischenfrüchte auf den Ertrag des nachgebauten Maises Eingang in die Bewertung finden.

2 Indexberechnungen

Um einen Bewertungsmaßstab zu erhalten, wird für jeden der genannten drei Aspekte ein Teilindex geschaffen, der die relative Vorzüglichkeit der entsprechenden Zwischenfrucht widerspiegelt. Abschließend erfolgt eine Zusammenführung der Teilindizes zu einem Gesamtindex der relativen Anbauwürdigkeit (IrA). IrA ist so aufgebaut, dass in Zukunft weitere Teilindizes integriert und damit zusätzliche Leistungen und Kennwerte der Winterzwischenfrüchte berücksichtigt werden können.

- IndexNmin – Nmin-Index, Absenkung des Nmin-Wertes über Winter, $N_{min} = \text{kg ha}^{-1} \text{NO}_3^- \text{-N} + \text{NH}_4^+ \text{-N (0-90 cm)}$
- IndexWZfr – Winterzwischenfrucht-Index, Methan-Flächenertrag der Winterzwischenfrüchte ($\text{Nm}^3 \text{CH}_4 \text{ ha}^{-1}$)
- IndexMais – Energiemais-Index, Maisertrag nach Winterzwischenfrucht (dt TM ha^{-1})

Die Teilindizes werden so konstruiert, dass ökonomisch und ökologisch günstige Auswirkungen einer Messgröße zu höheren Indexwerten führen. Umgekehrt sollen ungünstige Auswirkungen einer Messgröße zu niedrigeren Indexwerten führen. Somit kann der Gesamtindex IrA als einfache Summe der Teilindizes dargestellt werden. Die relative Anbauwürdigkeit einer Winterzwischenfrucht wird mit steigendem IrA-Wert größer (21):

$$\text{IrA} = \text{IndexNmin} + \text{IndexWZfr} + \text{IndexMais}$$

2.1 Nmin-Index

Der Nmin-Index (IndexNmin) ist ein Maß dafür, inwieweit eine bestimmte Winterzwischenfrucht den Nmin-Wert im Boden zum Ende der Vegetationszeit (Winter) im Verhältnis zu den anderen mitgeprüften Winterzwischenfrüchten absenkt. Ein Nmin-Index von Null bedeutet, dass die betrachtete Winterzwischenfrucht keine Absenkung gegenüber dem Mittel aller geprüften Varianten realisieren konnte. Ein positiver Nmin-Index bedeutet, dass die in Rede stehende Winterzwischenfrucht den Nmin-Wert über Winter stärker absenken konnte als dies im Mittel aller untersuchten Winterzwischenfrüchte der Fall war. Ein negativer Nmin-Index bedeutet, dass die betreffende Winterzwischenfrucht den Nmin-Wert über Winter weniger absenken konnte als das Mittel aller Winterzwischenfrüchte.

$$(1) \text{ IndexNmin} = \frac{(\overline{N}_{\min \text{ Dez}} - N_{\min \text{ Dez}})}{\overline{N}_{\min \text{ Dez}}}$$

wobei

$N_{\min \text{ Dez}} = \text{Nmin-Wert der konkreten Variante im Dezember (kg N ha}^{-1}\text{)}$

$\overline{N}_{\min \text{ Dez}} = \text{arithmetisches Mittel der Nmin-Werte aller Varianten im Dezember (kg N ha}^{-1}\text{)}$

2.2 Winterzwischenfrucht-Index

Der Winterzwischenfrucht-Index (IndexWZfr) berücksichtigt den Methanflächenertrag der Winterzwischenfrüchte zum Ende des Anbauzeitraumes im Frühjahr, unmittelbar vor den Vorbereitungen zur Aussaat des Mais. Dabei werden die Biomasseerträge (dt TM ha^{-1}) der Winterzwischenfrucht-Varianten mit den spezifischen Methanerträgen ($\text{NI CH}_4 \text{ kg}^{-1} \text{ TM}$) verrechnet, um so den Methan-Flächenertrag der betreffenden Winterzwischenfrucht zu erhalten. Der Winterzwischenfrucht-Index für eine konkrete Variante

ergibt sich daraus, inwieweit ihr Methan-Flächenertrag vom Mittel des Methanflächenertrages aller geprüften Winterzwischenfrüchte abweicht. Der Winterzwischenfrucht-Index wird umso größer, je mehr er über dem Mittel der Winterzwischenfrucht-Indizes aller Varianten liegt.

$$(2) \text{ IndexWZfr} = \frac{Y_{\text{Methan}}}{\bar{Y}_{\text{Methan}}} - 1$$

wobei

Y_{Methan} = Methanertrag der konkreten Variante im Mai ($\text{Nm}^3 \text{CH}_4 \text{ha}^{-1}$)

\bar{Y}_{Methan} = arithmetisches Mittel der Methanerträge aller Varianten im Mai ($\text{Nm}^3 \text{CH}_4 \text{ha}^{-1}$)

2.3 Energiemais-Index

Mithilfe des Energiemais-Indexes (IndexMais) wird die Bewertung der Vorfruchtwirkung einer Winterzwischenfrucht auf den Ertrag des nachgebauten Maises vorgenommen. Die betrachtete Messgröße ist der Trockenmasse-Ertrag des Maises zum Zeitpunkt der Siloreife. Hohe Trockenmasse-Erträge des Maises führen zu einem größeren, niedrige Trockenmasse-Erträge des Maises führen zu einem kleineren Wert des Energiemais-Indexes für die betreffende Winterzwischenfrucht.

$$(3) \text{ IndexMais} = \frac{Y_{\text{Mais}}}{\bar{Y}_{\text{Mais}}} - 1$$

wobei

Y_{Mais} = Maisertrag der konkreten Variante (dt TM ha^{-1})

\bar{Y}_{Mais} = arithmetisches Mittel der Maiserträge aller Varianten (dt TM ha^{-1})

3 Feldversuche

Die zugrunde liegenden Feldversuche wurden in den Jahren 2006/07 und 2007/08 auf dem Versuchsgut Reinshof der Universität Göttingen durchgeführt. Bei dem Standort handelt es sich um einen tiefgründigen Lössboden (Auenlehm) mit einer mittleren bis guten Nährstoffversorgung. Die pH-Werte schwankten um den Wert 7. Im Hinblick auf die Niederschläge ist vor allem auf den sehr feuchten Sommer und Spätsommer 2007 (Mai bis September) hinzuweisen. In beiden Jahren lagen die Temperaturen über dem langjährigen Mittel, insbesondere während der Wintermonate.

In beiden Versuchsjahren wurden nach Weizen 33 verschiedene Winterzwischenfrucht-Varianten praxisüblich angebaut. Eine Variante ohne Zwischenfrucht diente als Kontrolle (Schwarzbrache). Jede Winterzwischenfrucht wurde in 1,5 m x 8,0 m großen Parzellen und jeweils vier Feldwiederholungen angebaut. Bei den Winterzwischenfrucht-Varianten handelte es sich um Futtergräser, Wintergetreide, Kreuzblütler, Kräuter sowie klein- und großkörnige Leguminosen. Sechs der 34 Varianten bestanden aus Gemengen verschiedener Zwischenfruchtarten, darunter das Gemenge aus Zottelwicken und Winterroggen ("Wickroggen", Variante 28) und das Landsberger Gemenge (Variante 33). Der Aufwuchs der Winterzwischenfrüchte wurde in der letzten Maidekade 2007 und 2008 erfasst. Der spezifische Methanertrag der Winterzwischenfrüchte wurde durch den "Hohenheimer Biogasertragstest" (HBT) ermittelt (12). Die Ernte des Mais erfolgte im November 2007 und 2008. Nähere Angaben zur Versuchsdurchführung finden sich bei MENKE (21).

Eine Düngung des Mais wurde im Hauptversuch nicht vorgenommen. In einem Zusatzversuch wurde in beiden Versuchsjahren bei fünf Varianten eine Düngung des Mais mit Gärrest (etwa 50 m³ ha⁻¹) durchgeführt, ebenfalls mit vier Feldwiederholungen. Dafür wurden diese fünf Varianten von vornherein doppelt angelegt. An mineralischen Nährstoffen kamen mit dem Gärrest im Mittel etwa 140 kg N ha⁻¹, 50 kg P₂O₅ ha⁻¹, 190 kg K₂O ha⁻¹, 20 kg MgO ha⁻¹ und 70 kg CaO ha⁻¹ auf die gedüngten Flächen.

3.1 Nmin-Index

Erstes Versuchsjahr: Die Nmin-Werte des ersten Versuchsjahres lagen im Dezember 2006 zum Teil erheblich unter dem Nmin-Niveau zum Aussaatzeitpunkt (68 kg N ha⁻¹). Es gab jedoch auch Varianten, deren Nmin-Werte zugenommen hatten. Zu den Varianten, die eine Absenkung des Nmin-Wertes erzielten, gehörten die Futtergräser, die Kreuzblütler, die Kräuter (Wegwarte, Spitzwegerich) und einige Gemenge, zum Beispiel Wickroggen. Auch das Landsberger Gemenge schnitt vergleichsweise gut ab (Abbildung 1a). Hohe Nmin-Werte wurden durchgängig bei den Getreide-Varianten gefunden. Die Leguminosen stellten eine inhomogene Gruppe dar: Die großkörnigen Winterackerbohnen und Wintererbsen und auch deren Gemenge zeigten sehr hohe Nmin-Werte im Dezember. Sie lagen noch über den Nmin-Werten der Schwarzbrache. Im Gegensatz dazu wiesen die kleinkörnigen Leguminosen, zum Beispiel Zottelwicke, eher geringe Nmin-Werte auf.

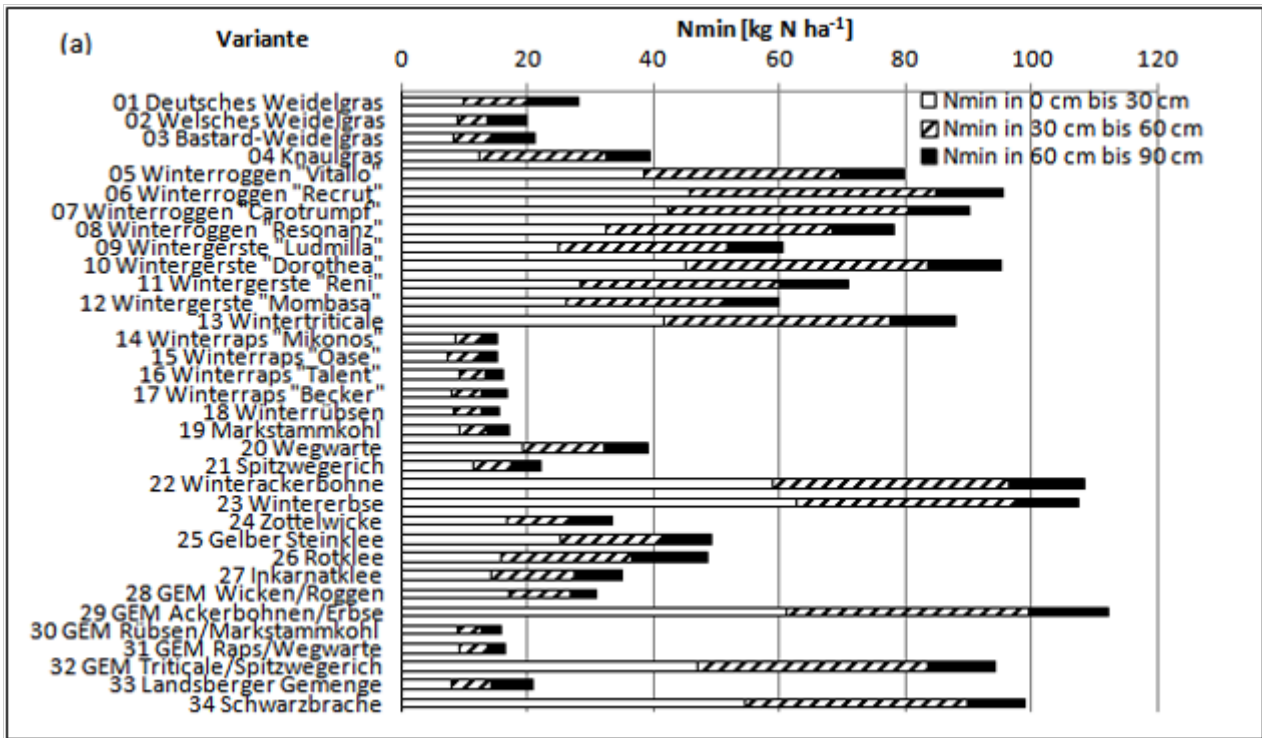


Abbildung 1a: Nmin-Wert von 33 Winterzwischenfrucht-Varianten im Dezember 2006, Variante 34: Kontrolle Schwarzbrache.

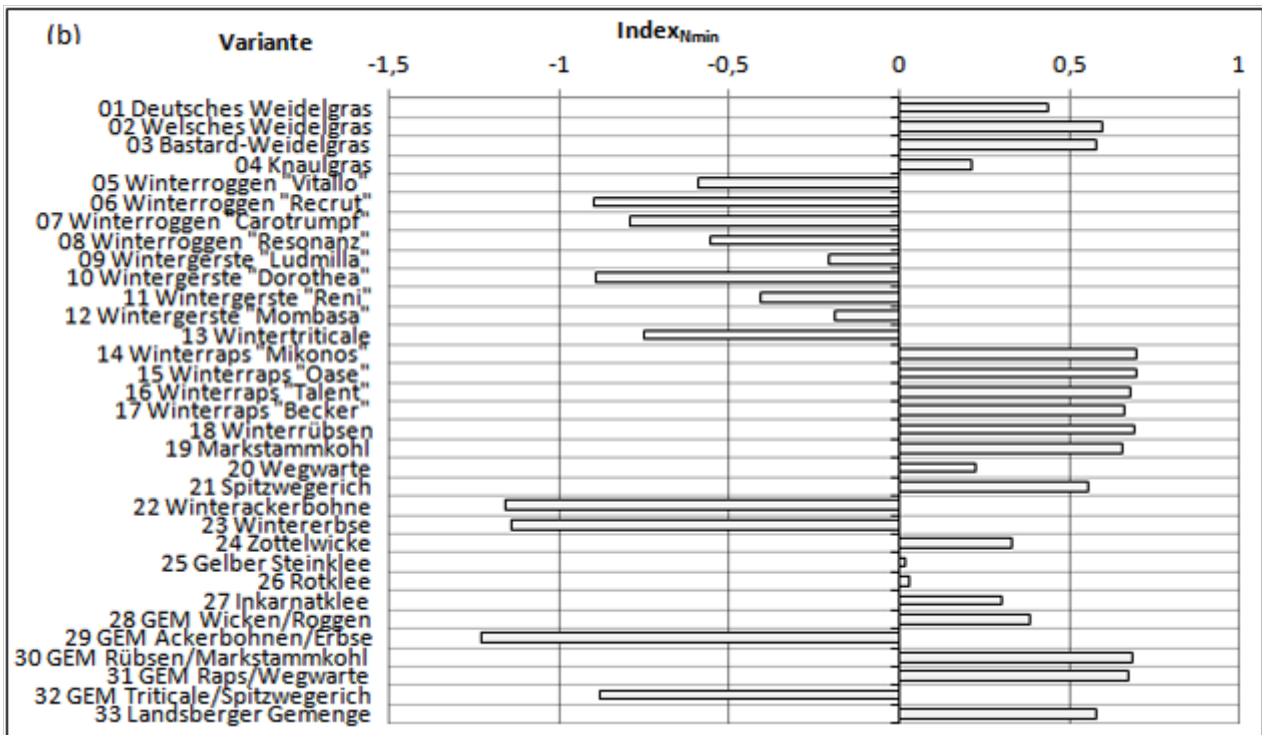


Abbildung 1b: Nmin-Index ("IndexNmin") der Winterzwischenfrüchte (Dezember 2006).

Insbesondere die Kreuzblütler (Varianten 14 bis 19) erreichten positive Indexwerte von bis zu +0,7 (Abbildung 1b). Dieses Niveau wurde ebenfalls von den Gemengen erzielt, bei denen eine Komponente zu den Kreuzblütlern gehörte, zum Beispiel Variante 30 und 31. Die Index-Werte der Futtergräser, Kräuter und einiger Leguminosen lagen ebenfalls im positiven Bereich. Auf der anderen Seite erzielten die Getreide-Varianten negative Index-Werte, die zum Teil bis -0,9 reichten (Winterroggen, Sorte "Recrut"). Noch geringer waren die Index-Werte von Wintererbsen (-1,14) und Winterackerbohnen (-1,16) sowie dem Gemenge aus diesen beiden Arten (-1,23). Im Vergleich dazu schnitten die kleinkörnigen Leguminosen, zum Beispiel Zottelwicke (+0,33) und Inkarnatklee (+0,30), deutlich besser ab.

Zweites Versuchsjahr: Im zweiten Versuchsjahr lagen die Nmin-Werte insgesamt auf einem niedrigeren Niveau als im Vorjahr. So betrug der Nmin-Wert zum Aussaatzeitpunkt nur rund 43 kg N ha⁻¹. Wiederum waren unter den Futtergras- und Kreuzblütlervarianten, auch unter dem Landsberger Gemenge, eher niedrige und unter den Getreide-Varianten vergleichsweise hohe Nmin-Werte festzustellen. Die höchsten Nmin-Werte wiesen die Parzellen auf, in denen Winterackerbohnen angebaut waren (Variante 22). Der Nmin-Wert der Winterackerbohnen erreichte nahezu den Wert der Schwarzbrache.

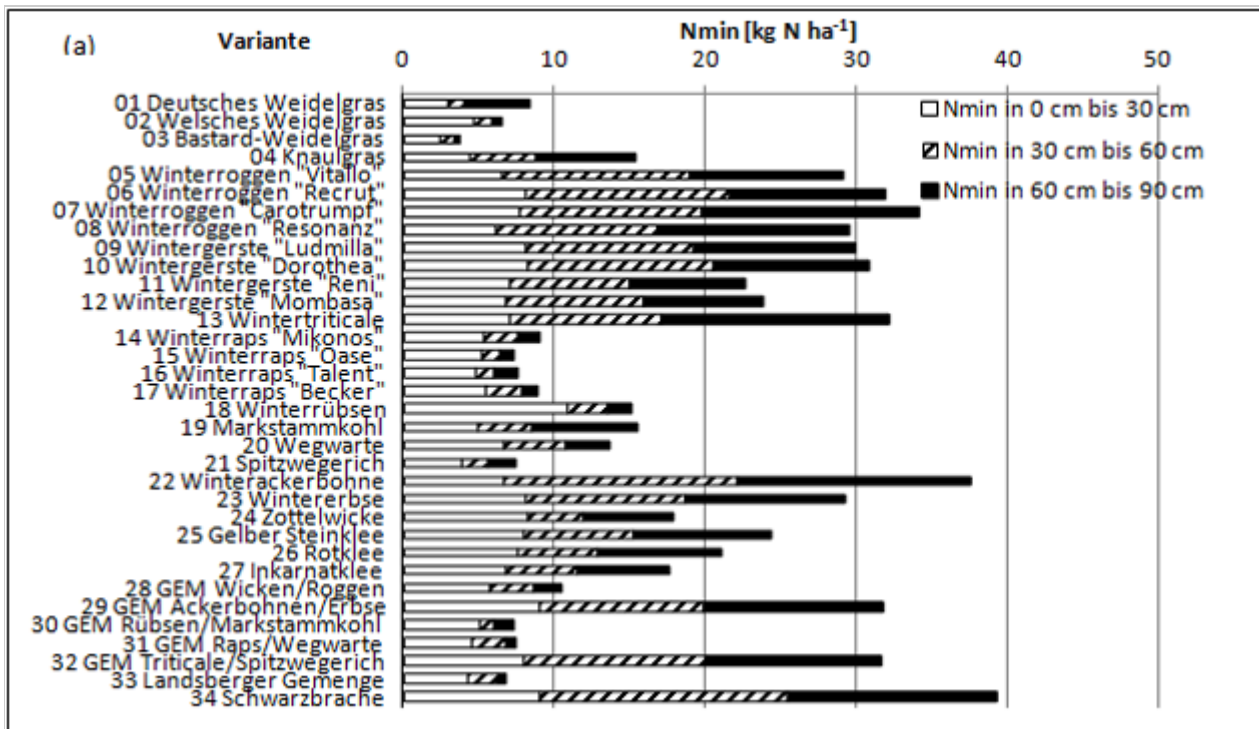


Abbildung 2a: Nmin-Wert von 33 Winterzwischenfrucht-Varianten im Dezember 2007, Variante 34: Kontrolle Schwarzbrache.

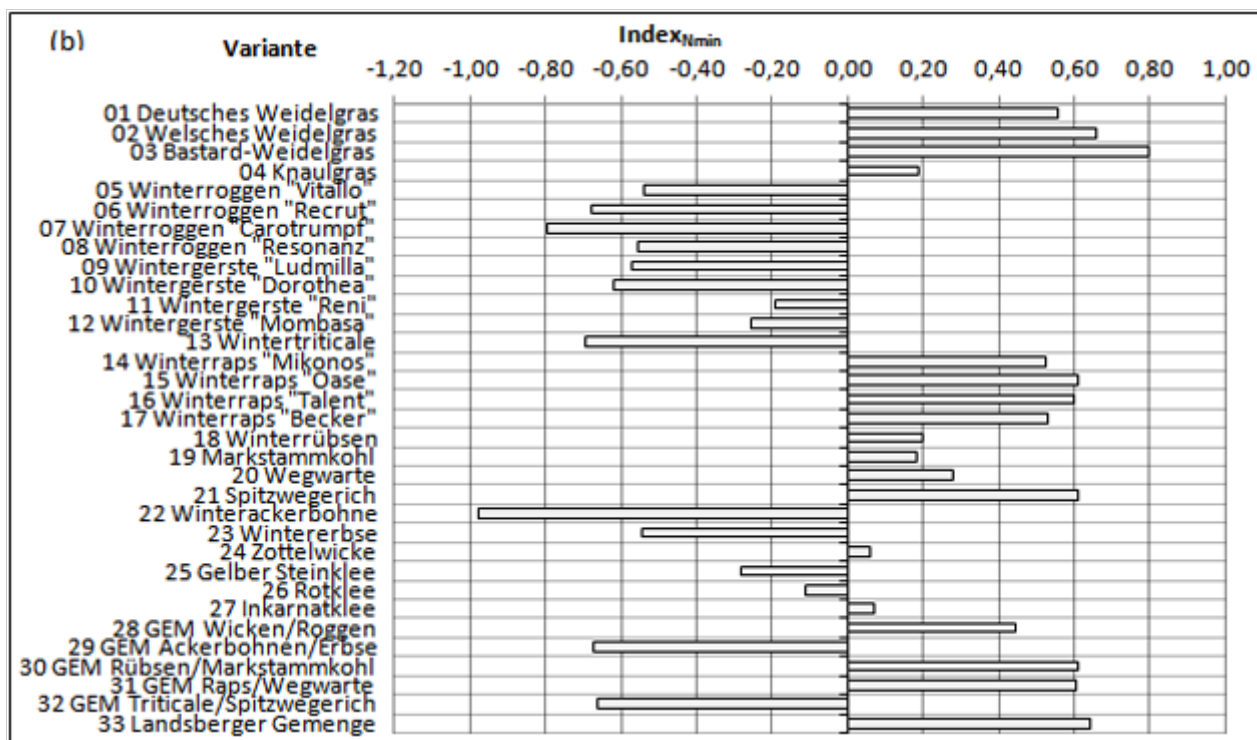


Abbildung 2b: Nmin-Index ("IndexNmin") der Winterzwischenfrüchte (Dezember 2007).

Die Werte des Nmin-Indexes schwankten erheblich, zwischen +0,8 für das Bastard-Weidelgras und -0,98 für die Winterackerbohnen. Die Futtergräser, die Kreuzblütler und die Gemenge mit diesen Arten schnitten gut ab. Im Wesentlichen zeigte sich im zweiten Versuchsjahr hinsichtlich der Nmin-Indizes ein ähnliches Bild wie im ersten Jahr, trotz der sehr ungleichen Ausgangsbedingungen.

3.2 Winterzwischenfrucht-Index

Erstes Versuchsjahr: Die spezifischen Methanerträge lagen für die Getreidearten leicht über $300 \text{ NI CH}_4 \text{ kg}^{-1} \text{ TM}$, für die Futtergräser bei etwa $290 \text{ NI CH}_4 \text{ kg}^{-1} \text{ TM}$, für die Kreuzblütler bei etwa $270 \text{ NI CH}_4 \text{ kg}^{-1} \text{ TM}$ und für die Leguminosen bei etwa $250 \text{ NI CH}_4 \text{ kg}^{-1} \text{ TM}$ (MENKE 2011). Mit etwa $240 \text{ NI CH}_4 \text{ kg}^{-1} \text{ TM}$ wurden bei den beiden Kräutern, Wegwarte (Nummer 20) und Spitzwegerich (Nummer 21), die niedrigsten spezifischen Methanerträge gemessen. Ein möglicher Grund für diese niedrigen Werte bei den Kräutern waren vielleicht die erhöhten Ligningehalte, die hier beobachtet wurden (21).

Die Methan-Flächenerträge im Mai des ersten Versuchsjahres (Abbildung 3a) lagen bei einigen Varianten über $3000 \text{ Nm}^3 \text{ CH}_4 \text{ ha}^{-1}$. Besonders ertragreich waren die Getreide- und die Futtergras-Varianten. Der höchste Ertrag mit $3289 \text{ Nm}^3 \text{ CH}_4 \text{ ha}^{-1}$ wurde von der Grünroggen-Variante, Sorte "Vitallo", erzielt. Recht hoch waren auch die Methan-Flächenerträge des Landsberger Gemenges mit $3009 \text{ Nm}^3 \text{ CH}_4 \text{ ha}^{-1}$ sowie des Wickroggens ($2910 \text{ Nm}^3 \text{ CH}_4 \text{ ha}^{-1}$) und des Inkarnatklees ($2557 \text{ Nm}^3 \text{ CH}_4 \text{ ha}^{-1}$). Geringe Methan-Flächenerträge erreichten die Zottelwicken ($1256 \text{ Nm}^3 \text{ CH}_4 \text{ ha}^{-1}$) und der Gelbe Steinklee ($946 \text{ Nm}^3 \text{ CH}_4 \text{ ha}^{-1}$). Insgesamt eher geringe Methan-Flächenerträge wurden bei den Kreuzblütler-Varianten erzielt. Die Rapsorten erreichten 1390 bis $1837 \text{ Nm}^3 \text{ CH}_4 \text{ ha}^{-1}$ und der Rüben $1367 \text{ Nm}^3 \text{ CH}_4 \text{ ha}^{-1}$. Der Markstammkohl war mit $2403 \text{ Nm}^3 \text{ CH}_4 \text{ ha}^{-1}$ in dieser Pflanzengruppe noch am besten.

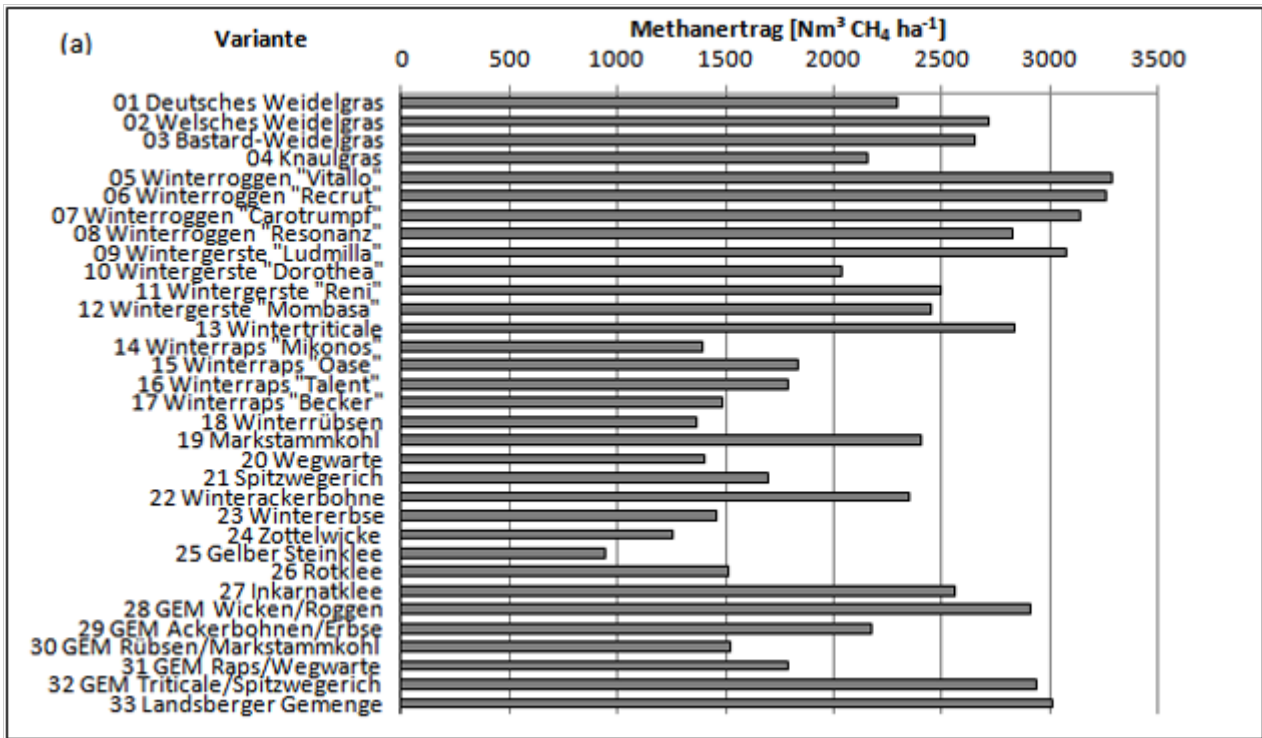


Abbildung 3a: Methan-Flächenertrag von 33 Winterzwischenfrucht-Varianten im Mai 2007.

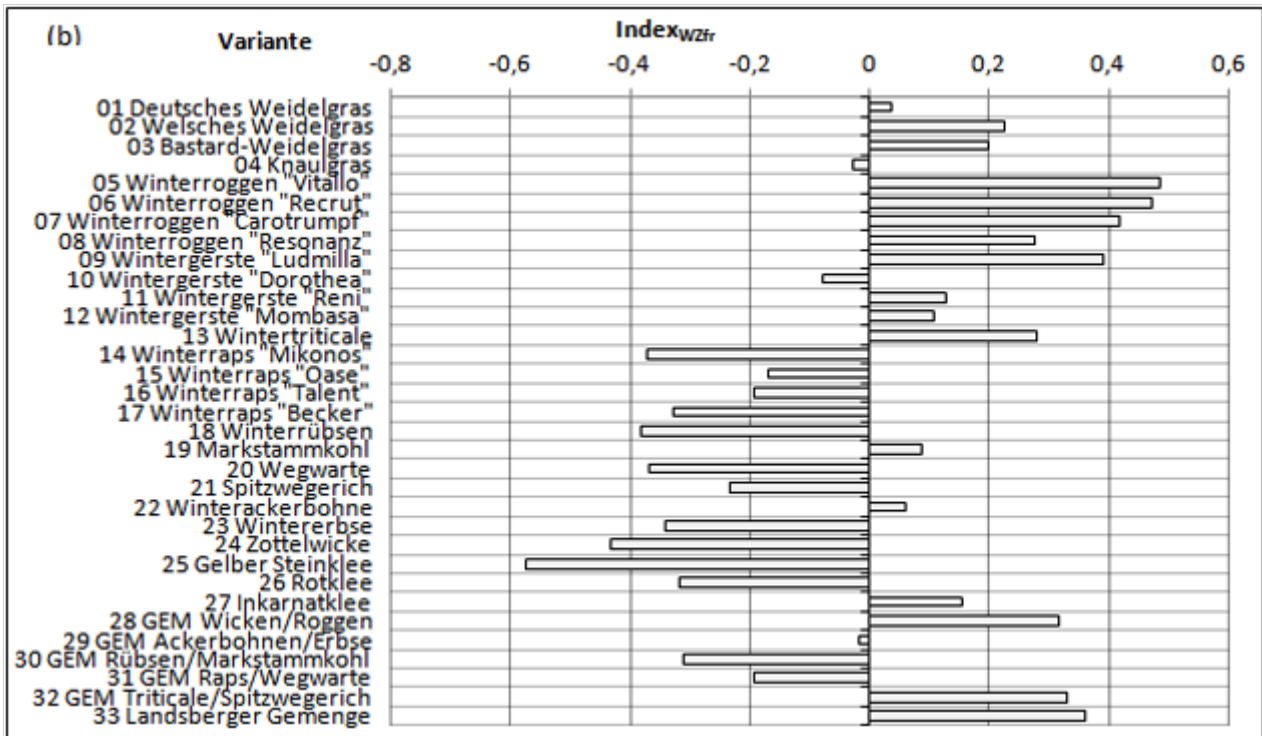


Abbildung 3b: Winterzwischenfrucht-Index ("IndexWZfr") der Winterzwischenfrüchte (Mai 2007).

Der Winterzwischenfrucht-Index zeigt bei allen Futtergras- und Getreide-Varianten weitgehend positive Werte. Lediglich das Knaulgras (-0,03) und die Wintergerstensorte "Dorothea" (-0,08) offenbarten gering negative Index-Werte (Abbildung 3b). Die höchsten Werte wurden für die Roggensorten "Vitallo" (+0,49) und "Recrut" (+0,47) erzielt. Auch bei den Gemengen mit Beteiligung eines Getreides waren überdurchschnittliche Methan-Flächenerträge und damit positive Index-Werte zu verzeichnen. Das Landsberger Gemenge (+0,36) und der Wickroggen (+0,32) erreichten ebenfalls gute Werte. Der geringste Winterzwischenfrucht-Index wurde für den Gelben Steinklee ermittelt (-0,57).

Zweites Versuchsjahr: Im zweiten Versuchsjahr lagen die Methan-Flächenerträge insgesamt niedriger als im Vorjahr. Mit 2667 Nm³ CH₄ ha⁻¹ war das Landsberger Gemenge die ertragreichste Variante (Abbildung 4a). Inkarnatklee (2364 Nm³ CH₄ ha⁻¹), Wickroggen (2235 Nm³ CH₄ ha⁻¹) sowie das Welsche Weidelgras (2171 Nm³ CH₄ ha⁻¹) und das Bastard-Weidelgras (2167 Nm³ CH₄ ha⁻¹) waren in diesem Jahr ebenfalls vergleichsweise ertragsstark. Dagegen fielen die Methan-Flächenerträge der Getreide-Varianten niedriger aus; hier lagen die Erträge mehrfach bei weniger als 1000 Nm³ CH₄ ha⁻¹. Die geringsten Erträge wiesen die Winterackerbohnen (680 Nm³ CH₄ ha⁻¹) und der Steinklee (333 Nm³ CH₄ ha⁻¹) auf.

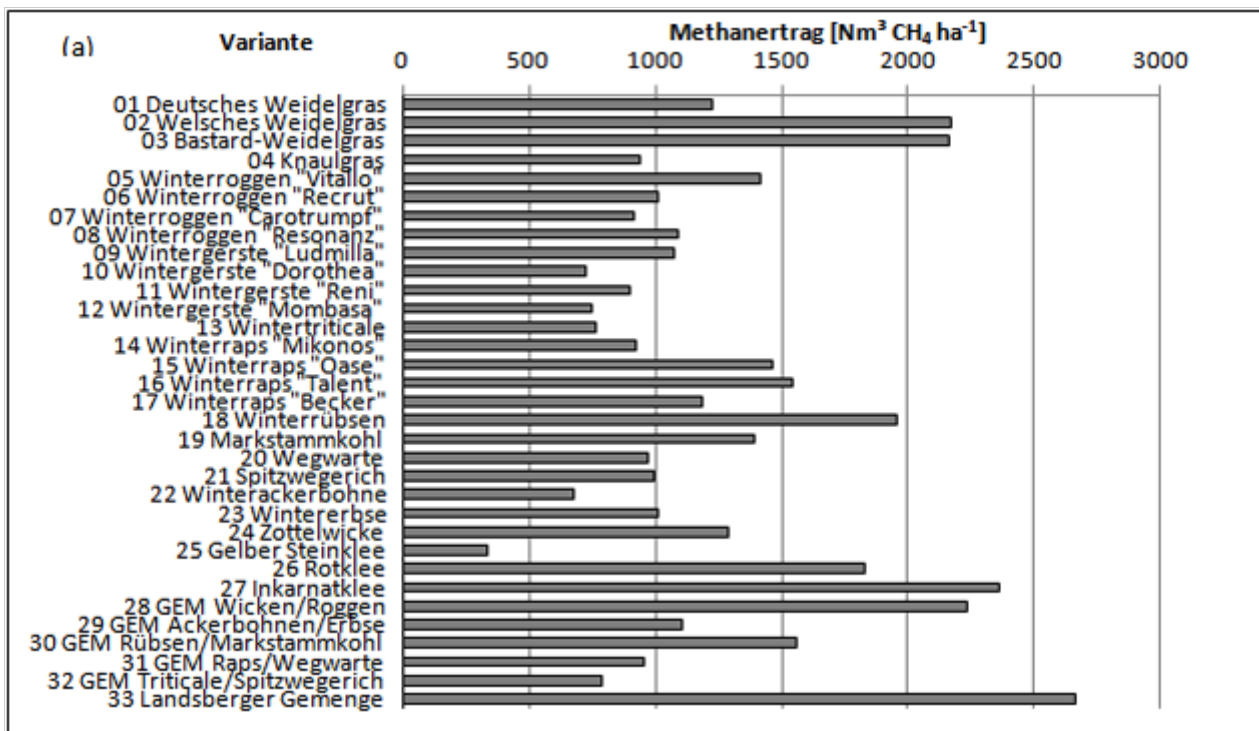


Abbildung 4a: Methan-Flächenertrag von 33 Winterzwischenfrucht-Varianten im Mai 2008.

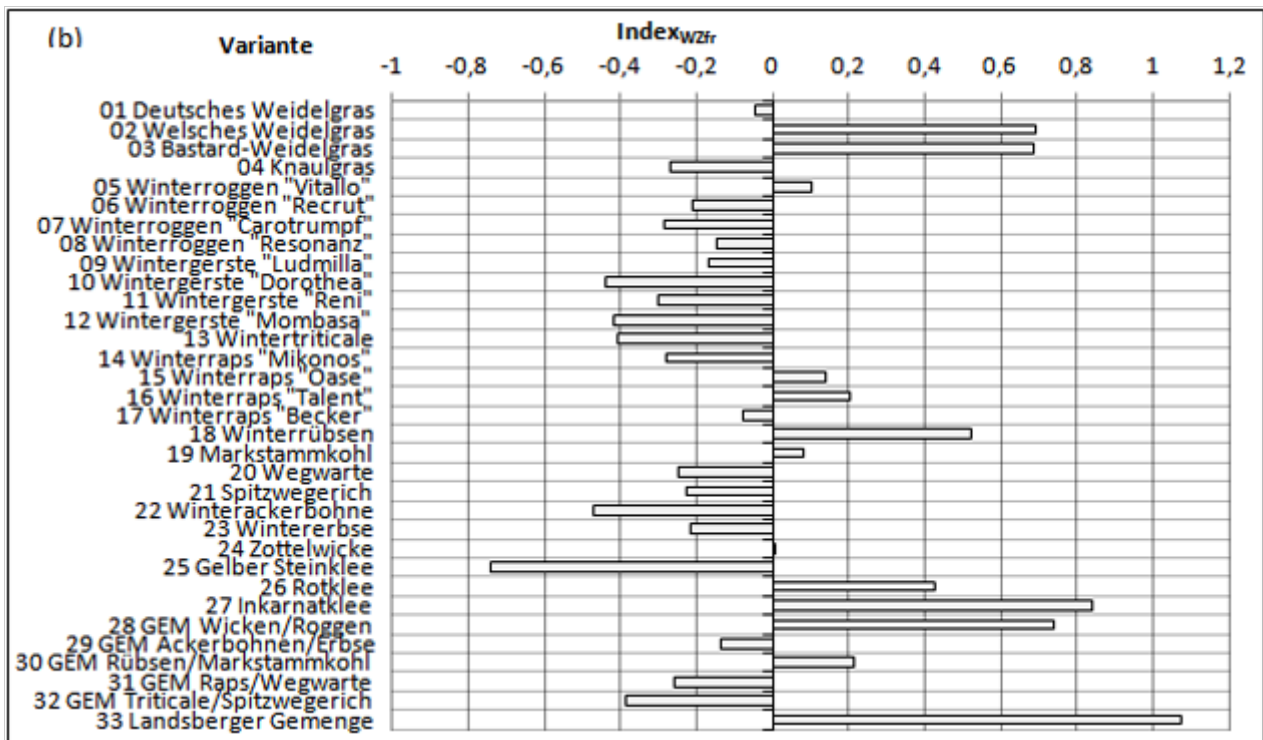


Abbildung 4b: Winterzwischenfrucht-Index ("IndexWZfr") der Winterzwischenfrüchte (Mai 2008).

Die Berechnung der Winterzwischenfrucht-Indizes des zweiten Versuchsjahres ergab eine große Spannweite zwischen dem höchsten Index-Wert von +1,08 für das Landsberger Gemenge und dem geringsten Wert von -0,74 für den Gelben Steinklee (Abbildung 4b). Inkarnatklee (+0,84), der Wickroggen (+0,74) sowie das Welsche Weidelgras (+0,69) und das Bastard-Weidelgras (+0,69) konnten ebenfalls positive Indizes erreichen. Negative Index-Werte zeigten mit Ausnahme von Winterroggen der Sorte "Vitallo" (+0,1) alle übrigen Getreide-Varianten mit Werten, die zwischen -0,15 bei Winterroggen "Resonanz" und -0,44 bei Wintergerste "Dorothea" lagen. Ebenfalls gering waren die Index-Werte beim Gemenge Triticale/Spitzwegerich (-0,38) und bei den Winterackerbohnen (-0,47).

3.3 Energiemais-Index

Erstes Versuchsjahr: Die Erträge des Energiemais (ungedüngt) waren am höchsten, wenn er nach Winterzwischenfrüchten aus der Gruppe der Leguminosen angebaut wurde (Abbildung 5a). So war der Maisertrag nach dem Gemenge aus Winterackerbohnen/Erbsen (160,3 dt TM ha⁻¹) und den Zottelwicken (158,0 dt TM ha⁻¹) sowie den Winterackerbohnen (153,1 dt TM ha⁻¹) und dem Inkarnatklee (150,1 dt TM ha⁻¹) am höchsten. Wurde der Mais nach Welschem Weidelgras (96,1 dt TM ha⁻¹), Bastard-Weidelgras (80,0 dt TM ha⁻¹), Spitzwegerich (75,6 dt TM ha⁻¹) oder nach dem Deutschen Weidelgras (72,4 dt TM ha⁻¹) angebaut, so waren die Erträge erheblich geringer.

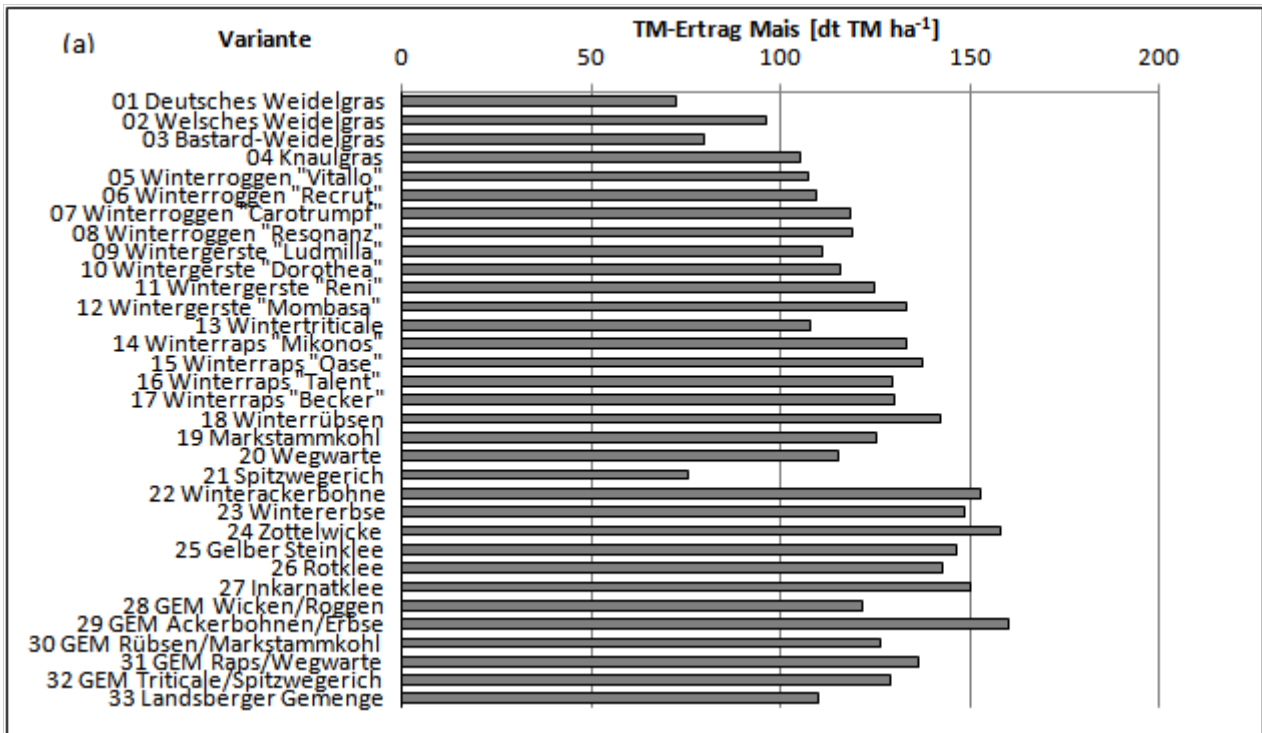


Abbildung 5a: Maisertrag (gesamter oberirdischer Aufwuchs) nach 33 Winterzwischenfrucht-Varianten im November 2007.

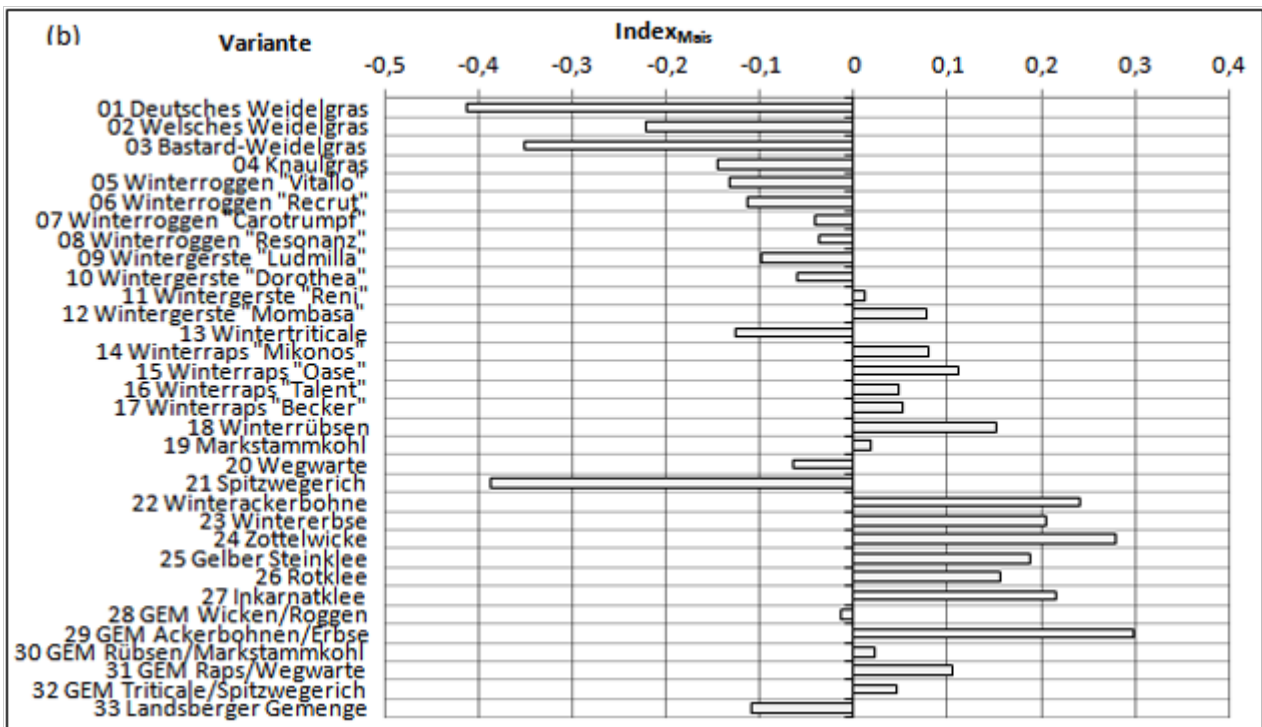


Abbildung 5b: Energiemais-Index ("IndexMais"), November 2007.

Der Energiemais-Index des ersten Versuchsjahres zeigt für alle Leguminosen-Varianten positive Werte. Die höchsten Index-Werte wurden vom Gemenge Winterackerbohnen/Erbsen (+0,30), Zottelwicken (+0,28), Winterackerbohnen (+0,24) und Inkarnatklee (+0,22) erzielt. Auch für die Kreuzblütler fielen die Index-Werte positiv aus, wenngleich sie mit +0,15 für Winterrübsen bis +0,02 für Markstammkohl nicht das Niveau der Leguminosen erreichen konnten. Bei den Getreide-Varianten waren bis auf Wintergerste der Sorte "Mombasa" (+0,02) und Wintergerste "Reni" (+0,01) alle Varianten im negativen Wertebereich. Auch das Landsberger Gemenge erzielte trotz der Leguminosenanteile nur einen negativen Index-Wert (-0,11). Des Weiteren wurden für Bastard-Weidelgras (-0,35), Spitzwegerich (-0,39) und Deutsches Weidelgras (-0,41) nur sehr geringe Index-Werte errechnet.

Zweites Versuchsjahr: Erneut wurden die höchsten Maiserträge gemessen, wenn der Mais nach Winterzwischenfrucht-Varianten angebaut wurde, die zur Gruppe der Leguminosen zählen (Abbildung 6a). So erreichte der Mais nach Zottelwicken (146,7 dt TM ha⁻¹), Rotklee (146,0 dt TM ha⁻¹), Inkarnatklee (125,6 dt TM ha⁻¹), Wintererbse (123,8 dt TM ha⁻¹) und Winterackerbohnen (122,9 dt TM ha⁻¹) ansehnliche Erträge. Gering waren die Maiserträge wenn der Mais nach den Winterzwischenfrüchten Spitzwegerich (45,9 dt TM ha⁻¹), Welsches Weidelgras (45,1 dt TM ha⁻¹) oder Bastard-Weidelgras (42,1 dt TM ha⁻¹) angebaut wurde. Nach dem Deutschen Weidelgras waren die Maiserträge wiederum am geringsten (40,2 dt TM ha⁻¹).

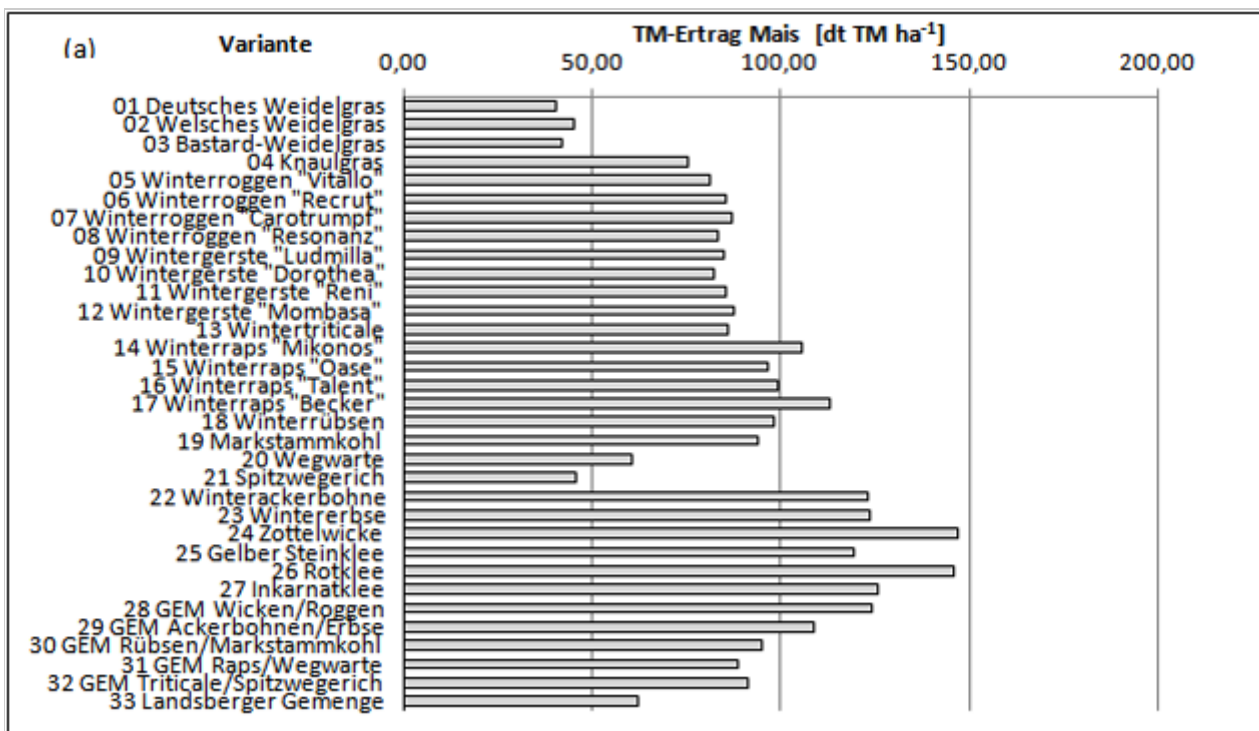


Abbildung 6a: Maisertrag (gesamter oberirdischer Aufwuchs) nach 33 Winterzwischenfrucht-Varianten im November 2008.

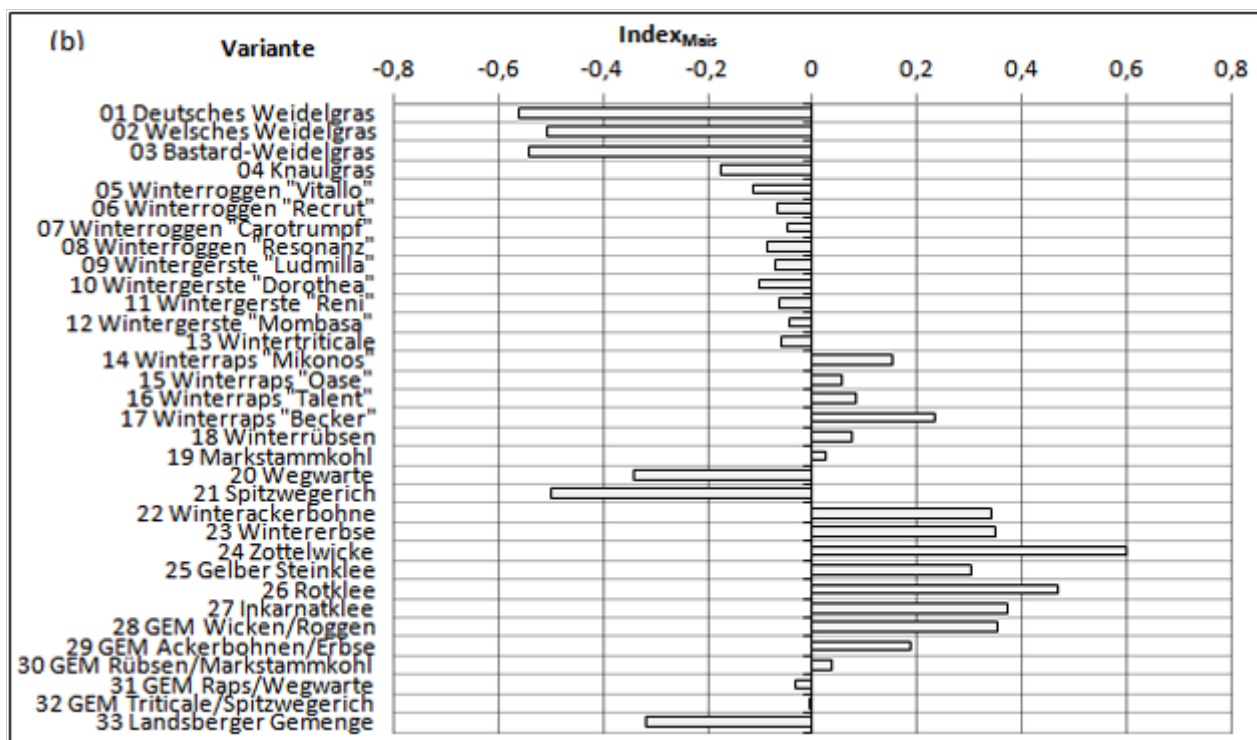


Abbildung 6b: Energiemais-Index ("IndexMais"), November 2008.

Für alle Leguminosen-Varianten lag der Energiemais-Index im positiven Bereich. Zottelwicken (+0,60), Rotklee (+0,47), Inkarnatklee (+0,37), Wintererbsen (+0,35) und Winterackerbohnen (+0,34) offenbarten dabei die höchsten Werte (Abbildung 6b). Zwei Gemenge-Varianten mit Beteiligung von Leguminosen, der Wickroggen (+0,35) und das Winterackerbohnen/Erbsengemenge (+0,19) erzielten ebenfalls positive Index-Werte. Allerdings konnte das Landsberger Gemenge (-0,32) diesen Zusammenhang erneut nicht bestätigen. Für alle Getreide-Varianten lag der Energiemais-Index im schwach negativen Wertebereich. Am niedrigsten waren die Energiemais-Indizes beim Spitzwegerich (-0,50), Welschen Weidelgras (-0,51), Bastard-Weidelgras (-0,54) und beim Deutschen Weidelgras (-0,56).

4 Gesamtindex IrA

Der Index der relativen Anbauwürdigkeit IrA von Winterzwischenfrüchten ergibt sich aus der Summe der drei vorgestellten Einzelindizes für jede untersuchte Winterzwischenfrucht. In Abbildung 7 wird IrA als Mittel aus den beiden Versuchsjahren dargestellt. Die Winterzwischenfrüchte mit den höchsten IrA-Werten waren das Landsberger Gemenge und der Wickroggen. Beide Varianten erzielten einen IrA-Wert von +1,10. Nur wenig geringer war der IrA-Wert von Inkarnatklee mit +0,98. Ebenfalls hohe IrA-Werte erzielten das Welsche Weidelgras (+0,72), die Winterraps-Sorten "Oase" (+0,72) und "Talent" (+0,71) sowie das Bastard-Weidelgras (+0,69). Alle Wintergetreidearten erzielten negative IrA-Werte. Die geringsten IrA-Werte ergaben sich für die Wintererbsen (-0,84), Wintertriticale (-0,88), Winterackerbohnen (-0,98) und Wintergerste, Sorte "Dorothea" (-1,10).

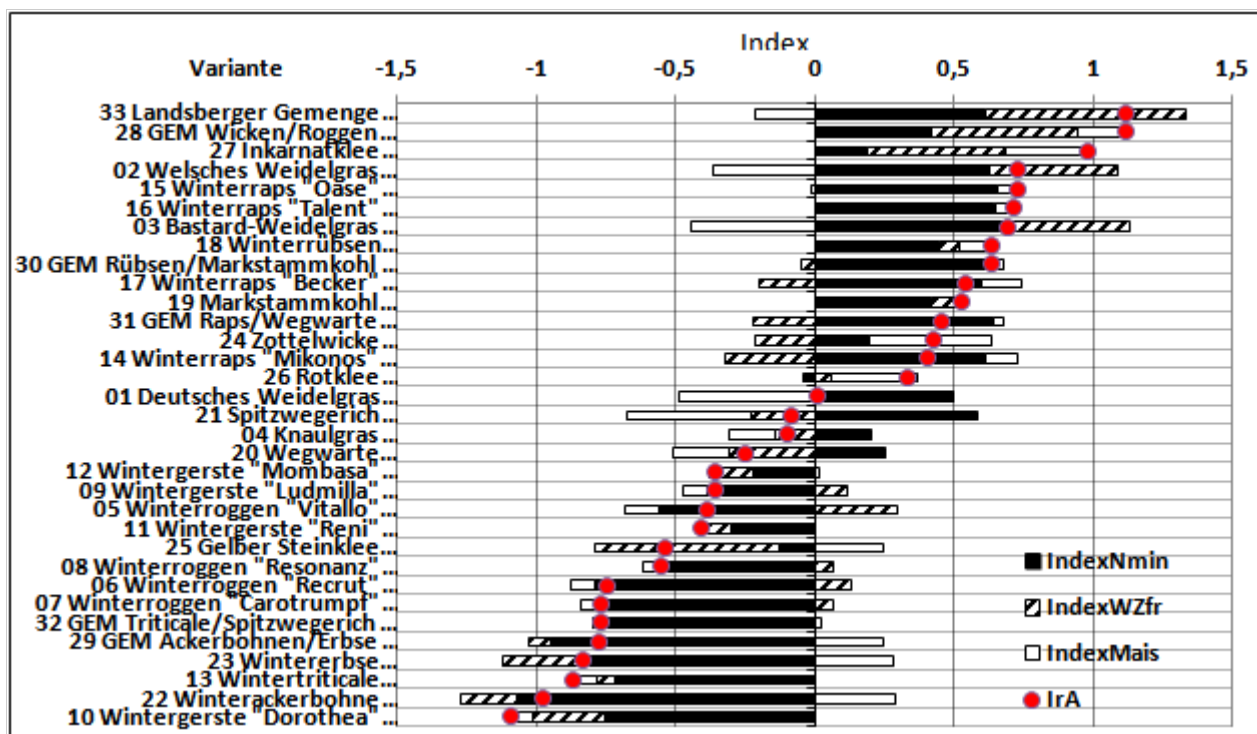


Abbildung 7: Teilindizes (Säulenabschnitte) und Gesamt-Index IrA (rot) für 33 Winterzwischenfrucht-Varianten (Mittel der zwei Versuchsjahre).

Die in Abbildung 7 dargestellten IrA-Werte werden jeweils zu verschiedenen Anteilen aus den drei Teilindizes zusammengesetzt. Der größte Anteil an IrA fällt auf den Nmin-Index. Er bestimmt im Mittel zu 58 Prozent den IrA-Wert. Es folgt der Winterzwischenfrucht-Index, dem ein Anteil von 23 Prozent an IrA zukommt. Geringfügig dahinter rangiert der Energiemais-Index, der IrA im Mittel zu 19 Prozent bestimmt.

5 Düngung mit Gärresten

Die Varianten "Deutsches Weidelgras" (Nummer 35), "Winterroggen, Sorte Vitallo" (Nummer 36), "Winterraps, Sorte Mikonos" (Nummer 37), "Wintererbse" (Nummer 38) und "Landsberger Gemenge" (Nummer 39) wurden in einem Zusatzversuch auch mit Gärrest gedüngt. Das Ergebnis im Mittel der beiden Versuchsjahre ist in Tabelle 1 dargestellt. Ohne Gärrestdüngung waren die Unterschiede zwischen den Erträgen der fünf Zusatzvarianten recht groß. Nach dem Deutschen Weidelgras lag der Maisertrag ohne Düngung bei nur 56,30 dt TM ha⁻¹. Nach der Wintererbse erreichte der Maisertrag 136,25 dt TM ha⁻¹. Mit Gärrestdüngung wurden deutlich höhere Erträge erzielt und zwischen den Varianten schwankte die Ertragshöhe weniger als ohne Düngung. Mit steigendem Maisertrag in "ungedüngt" nahm der Effekt der Düngung linear ab. Der Mais-Mehrertrag durch die Düngung belief sich nach dem Deutschen Weidelgras auf 66,10 dt TM ha⁻¹. Nach der Wintererbse betrug der Mais-Mehrertrag dagegen nur 25,50 dt TM ha⁻¹.

Tabelle 1: Trockenmasseertrag des Maises (gesamter oberirdischer Aufwuchs) nach vorgeschalteten Winterzwischenfrüchten in Abhängigkeit von einer Düngung des Maises mit Gärresten. +

Variante (Vorfrucht)	Nummer	Maisertrag ohne Düngung (dt TM ha ⁻¹)	Nummer	Maisertrag mit Düngung (dt TM ha ⁻¹)	Mehrertrag durch Düngung (dt TM ha ⁻¹)
Deutsches Weidelgras	1	56,30 c	35	122,40 b	66,10***
Winterroggen	5	94,20 b	36	154,15 a	59,95***
Winterraps	14	119,45 a	37	154,35 a	34,90**
Wintererbse	23	136,25 a	38	161,75 a	25,20*
Landsberger Gemenge	33	86,05 b	39	136,75 b	50,70***

Anmerkungen: +Mittel aus zwei Versuchsjahren. Getrennte statistische Analyse für "ohne" und "mit" Düngung: Verschiedene Kleinbuchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede zwischen den Winterzwischenfrucht-Varianten innerhalb einer Säule (Leserichtung senkrecht, $P < 0,05$). Unterschiede zwischen "ohne" und "mit" Düngung für jede Zwischenfrucht (Leserichtung waagerecht) signifikant bei * = $P < 0,05$, ** = $P < 0,01$, *** = $P < 0,001$ (LSD-Test, STATISTICA).

6 Diskussion

6.1 Nmin-Absenkung über Winter

Im Hinblick auf die Nmin-Absenkung über Winter unterschieden sich die untersuchten Winterzwischenfrüchte stark. Das hat zum einen mit den Unterschieden im oberirdischen Aufwuchs zu tun (32; Abschnitt 3.2) zum anderen aber auch mit den erheblichen Unterschieden im Wurzelbereich. Bei MENKE (21) ist auch die Wurzel trockenmasse der 33 Winterzwischenfrüchte dargestellt. Es wird erkennbar, dass die Weidelgrasarten, die die Nmin-Werte in beiden Versuchsjahren stark absenkten (Abbildung 1 und 2), bis zum Mai der Versuchsjahre hohe Wurzel trockenmassen von etwa 40 dt TM ha⁻¹ aufbauten. Das Deutsche Weidelgras erreichte im ersten Versuchsjahr eine Wurzel trockenmasse von sogar mehr als 60 dt TM ha⁻¹ (0-60 cm Tiefe). Die Kreuzblütler senkten den Nmin-Wert im Boden ähnlich stark ab wie die Weidelgrasarten. Die Wurzel trockenmasse der Kreuzblütler war aber kleiner als bei den Weidelgrasarten. Es ist bekannt, dass Kreuzblütler, zum Beispiel Raps, schon mit vergleichsweise wenig Wurzelmasse viel mineralischen Stickstoff aufnehmen können (16).

Die Leguminosen gaben ein uneinheitliches Bild ab. Die Körnerleguminosen, Winterackerbohnen, Wintererbsen und ihre Gemenge, unterschieden sich kaum von der Schwarzbrache. Dies hängt gewiss mit ihrem späten Aussaatzeitpunkt (Anfang Oktober), ihrer langsamen Jugendentwicklung und ihrer sehr geringen Spross- und Wurzelbildung bis zur Nmin-Probenahme im Winter zusammen. Ähnliche Zusammenhänge fand KÖNIG (17). Demgegenüber konnten die bereits im Spätsommer gesäten kleinkörnigen Leguminosen, zum Beispiel Zottelwicke und Inkarnatklee, den Nmin-Wert im Boden bis zum Winter merklich absenkten. Auch dies entspricht den Beobachtungen von KÖNIG (17). Die Leguminosen insgesamt sind demnach sehr

differenziert anzusprechen.

Im Hinblick auf die Nmin-Absenkung über Winter schnitten die Getreide-Varianten überraschend schlecht ab. Dies gilt umso mehr, als Wintergetreidearten in der landbaulichen Praxis in Biogasfruchtfolgen durchaus angebaut werden, zum Beispiel im Zuge des Zweikulturnutzungssystems (31). Tatsächlich fand MENKE (21) nur eine geringe Spross- und Wurzelrockenmasse bei den Getreide-Varianten. Die Wurzel- und Sprossmassen waren im zweiten Versuchsjahr nochmals kleiner als im Vorjahr. Dies ist darauf zurückzuführen, dass die Aussaat der Wintergetreidearten wegen der ungewöhnlich hohen Niederschläge im Sommer und Spätsommer des zweiten Versuchsjahres nur verzögert erfolgen konnte und aus diesem Grund noch weniger Spross- und Wurzelmasse gebildet werden konnte als dies üblicherweise der Fall ist. Insofern kann gerade das zweite Versuchsjahr für die Getreidearten nicht verallgemeinert werden. Die hohen Nmin-Werte bei der Wintergerstensorte "Dorothea" hängen möglicherweise damit zusammen, dass diese Sorte als Braugerste eingestuft war (3) und diese Sorte von daher vielleicht eine geringere Stickstoffaufnahme mitbrachte als andere Gerstensorten und Getreidearten. Damit übereinstimmend fand MENKE (21) bei der Sorte "Dorothea" durchweg niedrigere Stickstoffmengen im Spross, verglichen mit den anderen hier geprüften Wintergerstensorten.

Die beiden Mischsaaten, der Wickroggen und das Landsberger Gemenge, waren in beiden Versuchsjahren in der Lage, den Nmin-Wert im Boden, verglichen mit der Schwarzbrache, erheblich abzusinken. Beide Gemenge beinhalten kleinkörnige Leguminosen, Zottelwicke oder Zottelwicke und Inkarnatklee. Es ist bekannt, dass Gemenge aus Nichtleguminosen und kleinkörnigen Leguminosen, zum Beispiel Rotklee, Saatwicke und Luzerne, den Nmin-Wert im Boden oft ähnlich absinken können wie Nichtleguminosen alleine (2, 28). Für Gemenge mit großkörnigen Leguminosen, zum Beispiel Ackerbohnen und Hafer, gilt dies weniger (2).

6.2 Methan-Flächenertrag der Winterzwischenfrüchte

In den vorliegenden Untersuchungen wurden die spezifischen Methanerträge nicht, wie in der Literatur üblich, auf die organische Trockenmasse (oTM), sondern auf "Trockenmasse" (TM) bezogen. Dies schien für unsere Untersuchungen ausreichend. Allerdings sind die Gehalte an organischer Trockenmasse landwirtschaftlicher Nutzpflanzen um etwa sechs bis zehn Prozent geringer als die Gesamt-Trockenmasse (7, 36). Dementsprechend fallen aufgrund der Bezugsgröße "TM" statt "oTM" die in den eigenen Untersuchungen dargestellten Werte für den spezifischen Methanertrag etwas geringer aus als die in der Literatur angegeben Werte. Für die Gemenge wurden die spezifischen Methanerträge der Komponenten in Reinsaat mit den entsprechenden Trockenmasse-Erträgen der Komponenten errechnet und die Ergebnisse der Gemengepartner aufsummiert. Bei dieser Annäherung wird die Methanausbeute der Gemenge möglicherweise unterschätzt, da es bei der gemeinsamen Vergärung mehrerer Pflanzenarten aufgrund von Synergieeffekten zu höheren Methanausbeuten kommen kann als bei Monovergärung der Substrate (1, 11). Für diesen Effekt könnten zum Beispiel Spurenelemente (Kobalt, Nickel und andere) verantwortlich sein, die in den Gemengekomponenten in verschiedener Konzentration vorkommen und sich gegenseitig ergänzen (25, 26).

Die Methanerträge landwirtschaftlicher Nutzpflanzen analysierten HERRMANN et al. (13) im praktischen Gärtest (Batch-Test). Die von ihnen genannten Methanerträge konnten aufgrund der dort zusätzlich mitgeteilten Gehalte an organischer Trockenmasse (NI CH₄ kg oTM⁻¹) in Methanerträge je Kilogramm Trockenmasse (NI CH₄ kg TM⁻¹) umgerechnet werden. Die so umgeformten Daten von HERRMANN et al. (13) von Deutschem Weidelgras, Grünroggen und Triticale lagen bei 307, 316 und 303 NI CH₄ kg TM⁻¹ und zeigten damit eine gute Übereinstimmung mit den Daten des hier vorgestellten Feldversuchs (295, 307 und 309 NI CH₄ kg TM⁻¹ der eigenen Analyse). Außerdem ermittelten HERRMANN et al. (13) einen spezifischen Methanertrag für die Brassica-Variante Futterrettich von 228 NI CH₄ kg TM⁻¹ und auch dieser Wert bestätigt die im Vergleich mit den Futtergräsern und Getreidearten geringeren Methanausbeuten der Kreuzblütler im eigenen Versuch.

Die erzielten Methan-Flächenerträge wurden in erster Linie durch die Trockenmasse-Erträge (dt TM ha⁻¹), weniger durch die spezifischen Methanerträge der Winterzwischenfrüchte bestimmt. Auch KAISER et al. (15) und STICKSEL et al. (30) weisen darauf hin, dass dem Trockenmasse-Ertrag verschiedener Feldfrüchte eine

größere Bedeutung für den Methan-Flächenertrag zukommt als dem spezifischen Methanertrag. Die Berechnungen der Methan-Flächenerträge offenbarten im ersten Versuchsjahr eine deutliche Überlegenheit der Getreide-Varianten (Abbildungen 3a und b). Drei der vier geprüften Winterroggensorten führten die Rangliste bei den Methan-Flächenerträgen an, gefolgt von der Gerstensorte "Ludmilla". Daran schlossen zunächst Landsberger Gemenge und dann wiederum Gemenge mit Getreide-Beteiligung (Triticale/Spitzwegerich und Wickroggen) an. Bei den genannten Varianten führten hohe Trockenmasse-Erträge bei gleichzeitig hohen spezifischen Methanausbeuten zu hohen Methan-Flächenerträgen. Getreide ist folglich für die Erzielung hoher Methanerträge besonders geeignet.

Anders als bei Wintergetreide war die Sachlage zum Beispiel beim Inkarnatklee; für ihn wurde im ersten Versuchsjahr der zweithöchste Trockenmasse-Ertrag erzielt, jedoch lag der Methan-Flächenertrag unter den Getreide-Varianten (Abbildungen 3a und b). Hier führten die geringeren spezifischen Methanerträge des Inkarnatklee bei nahezu gleichen Biomasseerträgen zu geringeren Methan-Flächenerträgen als bei den Roggen-Varianten. Dies bestätigt, dass zur Produktion hoher Methan-Flächenerträge die hohen Trockenmasse-Erträge eine Voraussetzung sind, dem spezifischen Methanertrag – wie das Beispiel Inkarnatklee zeigt – aber ebenfalls eine gewisse Bedeutung zukommt.

6.3 Trockenmasse-Ertrag des Maises

Insgesamt war das Ertragsniveau des Maises im zweiten Versuchsjahr geringer als im Vorjahr. Vermutlich ist dies auf die geringen Niederschläge nach der Maisaussaat, das heißt auf einen latenten Wassermangel zu Beginn der Vegetationszeit des Maises im zweiten Versuchsjahr, zurückzuführen (24).

Die Rangfolge der Maiserträge nach dem Anbau von Winterzwischenfrüchten verschiedener Pflanzengruppen war in beiden Jahren gleich: Schwarzbrache > Leguminosen > Kreuzblütler > Getreide > Kräuter > Futtergräser. Auffällig waren die sehr niedrigen Maiserträge nach den Weidelgrasvarianten. Wir vermuten, dass diese Rangierung hauptsächlich auf eine unterschiedliche Verfügbarkeit von Nährstoffen, insbesondere Stickstoff, zurückzuführen ist. Hierfür spricht auch der hohe Ertrag des Maises nach der Schwarzbrache. Diese Vermutung wird bestärkt durch die Beobachtung vergleichsweise hoher N_{min}-Werte im Mai 2008 bei den Zottelwicken. Nach den Zottelwicken erbrachte der Mais im zweiten Versuchsjahr den höchsten Ertrag.

Die Umsetzung der organischen Substanz im Boden wird maßgeblich durch ihr C/N-Verhältnis bestimmt (9). Es ist bekannt, dass die Wurzeln von Nichtleguminosen, zum Beispiel Grasarten, ein deutlich weiteres C/N-Verhältnis aufweisen als die Wurzeln von Leguminosen (9, 18). Dies lässt vermuten, dass es bei den eigenen Untersuchungen insbesondere in den Weidelgrasparzellen zu einer Stickstoffimmobilisierung gekommen ist und der Stickstoff aus den Wurzelresten dem Mais nicht zur Verfügung stand. Diese Beobachtung machten auch FRANCIS et al. (8). Sie bauten Nichtleguminosen als Winterzwischenfrüchte vor Sommergetreide an und bestätigten eine Ertragsdepression im Vergleich zum Anbau nach Schwarzbrache. Ähnliche Ergebnisse erzielten VYN et al. (35). HONEYCUTT & POTARO (14) beobachteten ebenfalls einen verzögerten Abbau organischer Masse mit weitem C/N-Verhältnis.

Zum Ausgleich des genannten Stickstoffmangels, der sich nach den nicht legumen Winterzwischenfrüchten einstellen kann, sollte eine Stickstoffdüngung des Maises erfolgen. In Biogasfruchtfolgen kann dies durch die Einarbeitung von Gärresten verwirklicht werden. Mokry (22) untersuchte 249 Gärrestproben und fand mittlere Stickstoffgehalte von 4-5 kg N t FM⁻¹. Davon lagen etwa 55-65 Prozent der Stickstoffmenge als NH₄-Stickstoff vor. Ein Großteil des Stickstoffs in Gärresten ist somit pflanzenverfügbar. Dass eine Düngung mit Gärresten erfolgreich ist, konnte auch in den eigenen Untersuchungen belegt werden: Die Ertragszuwächse auf Seiten des Maises waren in den Parzellen, in denen Futtergräser und Getreide vorausgegangen waren, durch die Gärrestdüngung besonders hoch. Nach dem Deutschen Weidelgras führte eine Gärrestdüngung zu Mais zu mehr als einer Verdoppelung des Maisertrages (Tabelle 1). Andererseits war der Mehrertrag durch die Gärrestdüngung vergleichsweise gering, wenn vor Mais eine Leguminose, hier Wintererbse, angebaut war. Vermutlich kam es im Fall der Gärrestdüngung zu Mais nach Wintererbsen sogar zu einem Nährstoff-Luxuskonsum des Maises (29).

7 Indexberechnungen

7.1 Bewertung der Winterzwischenfrüchte anhand ihrer IrA-Werte

Als besonders erfolgreiche Winterzwischenfrüchte erwiesen sich zwei Gemenge-Varianten, das Landsberger Gemenge sowie der Wickroggen. Beide Varianten sind Kombinationen aus kleinkörnigen Leguminosen und Nichtleguminosen. In beiden Versuchsjahren zeigte dieser Mischanbau hohe Nmin- sowie hohe Winterzwischenfrucht-Indizes. Das Landsberger Gemenge offenbarte lediglich beim Energiemais-Index negative Index-Werte, diese konnten jedoch durch die hohen Nmin- und Winterzwischenfrucht-Indizes kompensiert werden, sodass insgesamt ein hoher IrA-Wert erreicht wurde. Die in beiden Gemengen vorkommenden Zottelwicken konnten in Reinsaat nur einen mittleren Platz in der Rangfolge einnehmen, zeigten aber aufgrund des Energiemais-Indexes noch einen positiven IrA-Wert. Wenn die Ernterückstände der Zottelwicken im Gemengeanbau etwa das gleiche C/N-Verhältnis aufweisen wie in Reinsaat, so ist zu vermuten, dass auch in den beiden Gemengen die Wirkung der Zottelwicken überwiegend darin bestand, die Umsetzung der Ernterückstände zu fördern.

Inkarnatklee konnte in Reinsaat und als Gemengepartner im Landsberger Gemenge einen hohen IrA-Wert erzielen. Aufgrund der durchweg positiven Einzel-Indizes könnte versucht werden, verschiedene weitere Gemenge mit Inkarnatklee zu testen. Interessant wäre zum Beispiel ein Gemengeanbau von Welschem Weidelgras mit Inkarnatklee. Hier würden zwei Komponenten mit positivem Nmin- und positivem Winterzwischenfrucht-Index zusammengeführt. Des Weiteren könnte der negative Energiemais-Index, den das Welsche Weidelgras in Reinsaat zeigte, durch den positiven Energiemais-Index des Inkarnatklees im Gemengeanbau kompensiert werden. Allerdings muss einschränkend erwähnt werden, dass der IrA-Wert des Inkarnatklees zum Großteil auf den hohen Winterzwischenfrucht-Index zurückzuführen ist. Inwieweit sich dieser auch in Jahren mit weniger milden Wintern realisieren lässt, bedarf weiterer Überprüfungen.

Auffällig ist das schlechte Ergebnis der Getreide-Varianten, insbesondere des Roggens. Dafür sind insbesondere die geringen Nmin-Indizes verantwortlich, aber auch die ungünstigen Energiemais-Indizes. Einige Getreidearten wiesen bei allen drei Teilindizes negative Werte auf. Dies traf zum Beispiel für einige Wintergerstensorten und für Wintertriticale zu. Aufgrund der relativ großen Einflussnahme durch den Nmin-Index könnte der Index IrA der Getreide-Varianten möglicherweise höhere Werte einnehmen, wenn das Getreide nicht erst im September, sondern schon im August ausgesät würde. Es ist davon auszugehen, dass durch die frühere Aussaat eine stärkere Nmin-Absenkung realisiert werden könnte (33).

IrA ist geeignet, eine Schwachstellenanalyse durchzuführen. Zum Beispiel beruht der niedrige IrA-Wert der Körnerleguminosen großenteils auf dem niedrigen Nmin-Index. Hier ist ein alternatives Anbaukonzept gefragt. Eine Möglichkeit besteht zum Beispiel darin, nach der vorausgehenden Getreideernte Hafer anzubauen und die Winterackerbohnen Anfang Oktober ohne weitere Bodenbearbeitung zwischen die Haferreihen zu säen. In normalen Jahren müsste der Hafer nachfolgend absterben, bedingt durch die Winterkälte. Im Januar 2012 wurde in einem derartigen Anbausystem ein Nmin-Wert von $18,8 \text{ kg N ha}^{-1}$ gemessen (0-90 cm). Demgegenüber lag der Nmin-Wert unter den üblich gesäten Winterackerbohnen bei $76,0 \text{ kg N ha}^{-1}$, ähnlich hoch wie in der Schwarzbrache mit $78,3 \text{ kg N ha}^{-1}$ (23).

Das Landsberger Gemenge hat den höchsten IrA-Wert aller hier untersuchten Winterzwischenfrucht-Varianten erzielt. Dies war möglich, obwohl das Landsberger Gemenge auf den nachfolgenden Mais ungünstiger wirkte als andere Varianten, das heißt der Energiemais-Index für das Landsberger Gemenge war negativ (Abbildung 7). Die Gärrestdüngung brachte schon eine deutliche Verbesserung der Vorfruchtwirkung (Tabelle 1). Es ist zu überlegen, welche weiteren Maßnahmen für das Landsberger Gemenge ergriffen werden könnten, um die Vorfruchtwirkung auf den Mais noch mehr zu verbessern und diese Variante weiter zu stärken.

7.2 Charakterisierung von IrA

Aufgrund der ungleichen Beschaffenheiten der am Index IrA beteiligten Größen, basieren die drei Teilindizes auf unterschiedlichen mathematischen Berechnungen. Es war zunächst das Ziel, möglichst einfache Teilindizes zu konstruieren. Der Nmin-Index wurde so angelegt, dass geringere Nmin-Werte als der Mittelwert aller Varianten zu positiven Index-Werten führen. Dagegen ist die Zielsetzung der beiden auf Ertrag ausgerichteten

Teilindizes (Winterzwischenfrucht-Index und Energiemais-Index) derart, dass höhere Ertragswerte im Vergleich zum Mittelwert aller Varianten zu höheren positiven Index-Werten führen. Durch die mathematische Gestaltung des Nmin-Indexes kann der errechnete Nmin-Index nicht größer werden als +1. Jedoch kann der Nmin-Index bei sehr hohen Nmin-Werten kleiner werden als -1. Folglich kann der Index IrA einer Variante durch hohe Nmin-Werte stärker im negativen Wertebereich beeinflusst werden als er durch geringe Nmin-Werte im positiven Bereich beeinflusst werden könnte. Dagegen sind der Winterzwischenfrucht- und der Energiemais-Index so konstruiert, dass der jeweilige Index-Wert nicht kleiner als -1, jedoch im positiven Bereich größer als +1 werden kann. Hier kann der Index IrA einer Variante durch sehr hohe Erträge stärker im positiven Werte-Bereich beeinflusst werden als eine Beeinflussung durch sehr geringe Erträge im negativen Bereich möglich wäre.

Trotz dieser theoretischen Schwächen in der Konstruktion der Teilindizes kamen in der praktischen Anwendung keine auffälligen Ungleichgewichte vor. Sowohl die Teilindizes als auch der Gesamtindex IrA schwankten in ähnlichem Ausmaß um die Nulllinie nach oben und unten. Insofern erscheint die Nutzung von IrA durchaus erwägenswert. Eleganter wäre dennoch, alle Teilindizes so zu konstruieren, dass sie im negativen und im positiven Bereich die gleichen Randbedingungen aufweisen.

Einen ähnlich wie IrA aufgebauten Index stellten FUCHS & STOCKFISCH (10) vor. Sie errechneten die Effizienz des Zuckerrübenanbaus einzelner Schläge unter Berücksichtigung verschiedener Faktoren wie zum Beispiel Bodenbearbeitung, Düngung, Pflanzenschutz. Um eine Kenngröße zu erhalten, welche die Effizienz (Verhältnis zwischen Ertrag und Aufwand) ausdrückt, wurde zum Beispiel für den Faktor Bodenbearbeitung der Energieverbrauch (GJ ha^{-1}) eines jeden Schlages ins Verhältnis zum Bereinigten Zuckerertrag (t ha^{-1}) gesetzt. Diese Kenngröße wurde ähnlich wie bei den Teilindizes von IrA durch das Mittel aller Kenngrößen der berücksichtigten Schläge dividiert, um so den gewünschten Teilindex für jeden Schlag zu erhalten. Auf diese Weise wurden für jeden der Faktoren Teilindizes errechnet, die zu einem Gesamt-Index ("Effizienz-Indexzahl") addiert wurden. Obwohl bei FUCHS & STOCKFISCH (10) mit einer abgeleiteten Kenngröße gearbeitet wird, die die Effizienz beschreibt, in der eigenen Arbeit jedoch nur direkte Messwerte verwendet werden, sind die Index-Berechnungen recht ähnlich.

Die in den vorgestellten Untersuchungen ermittelten Nmin-Indizes lagen von ihrer Größenordnung her über den Beträgen der Winterzwischenfrucht- und Energiemais-Indizes. Diese Überlegenheit des Nmin-Indexes könnte dazu geführt haben, dass die Varianten mit einem eher günstigen Verhalten bei der Stickstoffkonservierung einen Vorteil bei der Errechnung des Gesamt-Indexes IrA erfahren haben. Dieses scheint aufgrund der bedeutenden ökologischen Zielsetzung, die mit dem Anbau der Winterzwischenfrüchte hinsichtlich des Gewässerschutzes verfolgt werden soll, durchaus erwünscht (5, 6, 34). Die leichte Begünstigung des Nmin-Indexes führte bei der Addition der Einzel-Indizes jedoch zu keiner allein bestimmenden Größe. Zwar war bei zahlreichen Varianten mit positivem Nmin-Index auch der Index IrA positiv, doch führte ein positiver Nmin-Index nicht in jedem Fall zu positiven IrA-Werten. Dies wurde besonders beim IrA-Wert des Spitzwegerichs und des Deutschen Weidelgrases deutlich, die trotz sehr guter Nmin-Indizes in beiden Jahren insgesamt nur einen kleinen, zum Teil sogar negativen, IrA-Wert erzielen konnten.

Prinzipiell könnte für jeden Teilindex des Indexes IrA durch Multiplikation mit einem festgelegten Faktor eine gezielte Gewichtung vorgenommen werden. So könnte zum Beispiel für Flächen, die aufgrund der Bodenbeschaffenheit und des Untergrundes nur sehr gering auswaschungsgefährdet sind, der Betrag eines Nmin-Indexes halbiert werden (Gewichtungsfaktor 0,5). So könnte IrA an einen gegebenen Standort angepasst werden. Umgekehrt könnten Teilindizes mit einem Gewichtungsfaktor größer 1 versehen und damit im Hinblick auf ihren Beitrag für IrA aufgewertet werden. Dies käme zum Beispiel für den Nmin-Index auf auswaschungsgefährdeten Böden infrage. Auf jeden Fall dürften solche Gewichtungen der Teilindizes nur mit großem Sachverstand vorgenommen werden. Andernfalls könnte IrA in seiner Aussagekraft verzerrt und damit geschwächt werden.

Des Weiteren ist es leicht möglich, in die Berechnung von IrA weitere Teilindizes einfließen zu lassen. Zum Beispiel könnte ein Teilindex für die Silierfähigkeit der Winterzwischenfrüchte einbezogen werden. Grundlage hierfür könnte der "Vergärbarkeitskoeffizient" (VK) nach SCHMIDT et al. (27) sein. Außerdem ist es denkbar, den Wasserbedarf der Winterzwischenfrüchte und die Wurzelmasse zur Humusproduktion zu

berücksichtigen. Ferner können ökonomische Aspekte, zum Beispiel Saatgutkosten, in IrA eingebaut werden. Schließlich erscheint es möglich, auch Teilindizes für soziale Belange, zum Beispiel die Akzeptanz für eine bestimmte Zwischenfrucht durch die Öffentlichkeit, zu erstellen.

Im vorgestellten Versuch wurden beim Mais Ertragsminderungen nach verschiedenen Winterzwischenfrüchten festgestellt, die wahrscheinlich auf Stickstoff-Immobilisierungsvorgänge zurückgeführt werden können. Durch eine Stickstoffdüngung mit mineralischen oder organischen Düngemitteln, auch mit Gärresten aus der Biogasanlage, könnten die Ertragsminderungen abgemildert werden (19; Tabelle 1). Durch eine Düngung würde die Amplitude des Energiemais-Indexes und dadurch die Auswirkung auf den Gesamt-Index IrA verkleinert. Die Vorfruchtwirkung der Winterzwischenfrüchte auf den Mais wäre demzufolge durch eine Düngung weniger gut sichtbar. Um Kenntnisse über die unmittelbare Vorfruchtwirkung zu erhalten sollte deshalb im Hauptversuch der hier vorliegenden Untersuchungen eine Düngung des Maises unterbleiben.

Da alle Index-Berechnungen zum IrA-Wert auf Mittelwerten aus den vorgestellten Ergebnissen aufbauen, lassen sich aus den Teilindizes nur Aussagen über die relative Leistung innerhalb der vorgestellten Versuchsvarianten treffen. Ein Vergleich von Varianten, die nicht unmittelbar am Versuch beteiligt waren, kann dementsprechend nicht erfolgen. Dieser Vergleich wäre wohl möglich, wenn anstelle der Mittelwerte aus den Versuchsdaten in einem erweiterten Ansatz feste Zielwerte für die einzelnen Teilindizes eingesetzt würden. So wäre denkbar, anstelle des Mittelwertes aller im Versuch gemessenen Nmin-Werte für den Nmin-Index einen Zielwert von zum Beispiel $40 \text{ kg Nmin ha}^{-1}$ anzunehmen. Die jeweilige Leistung der Varianten wäre dann auf diesen Wert zu beziehen. Entsprechend könnten Zielwerte für den Methan-Flächenertrag der Winterzwischenfrüchte und für den Maisertrag festgelegt werden. Da es hier aber bedeutsam war, einen Überblick über die am Versuch beteiligten Varianten zu erhalten, wurde auf eine derartige Standardisierung vorerst verzichtet. Trotz fehlender Standardisierung erscheint der "Index der relativen Anbauwürdigkeit", IrA, gut geeignet, die untersuchten 33 Winterzwischenfrucht-Varianten miteinander zu vergleichen und ihre Leistungsstärken abzubilden. Eine sinnvolle Erweiterung von IrA wird die Aussagekraft dieses Indexes weiter erhöhen.

Zusammenfassung

Im Zuge der "Greening"-Anforderungen der neuen Gesetzgebung der Europäischen Kommission wird der Anbau von Zwischenfrüchten, einschließlich Winterzwischenfrüchten, an Bedeutung gewinnen. Es wird ein Ansatz vorgelegt, Winterzwischenfrüchte zu bewerten. Aus den vielfältigen ökonomischen und ökologischen Leistungen werden drei Messgrößen ausgewählt und bewertet: (1) Stickstoffkonservierung über Winter, (2) Methanerzeugung und (3) Wirkung auf den Ertrag des nachfolgenden Maises. Die Bewertung erfolgt anhand einfacher Teilindizes, die mathematisch so konstruiert sind, dass sie mit zunehmender Leistung der Zwischenfrüchte größer werden. Abschließend werden die drei Teilindizes durch Addition zu einem "Index der relativen Anbauwürdigkeit" (IrA) zusammengeführt.

33 Winterzwischenfrucht-Varianten wurden in zweijährigen Feldversuchen angebaut und die Teilindizes berechnet. Die günstigsten IrA-Werte erzielten Mischsaaten, das Landsberger Gemenge (bestehend aus Zottelwicke, Welschem Weidelgras und Inkarnatklée) und der Wickroggen (bestehend aus Winterroggen und Zottelwicke). Die Wintergetreidearten schnitten vergleichsweise schlecht ab. Auf der Grundlage von IrA kam den großkörnigen Leguminosen, Winterackerbohnen und Wintererbsen, die geringste Anbauwürdigkeit zu.

IrA ermöglicht eine Schwachstellenanalyse. So wurde für die Winterackerbohnen bereits ein neues Anbausystem vorgestellt, das den größten Nachteil dieser Feldfrucht, die fehlende Nmin-Absenkung über Winter, ausgleichen kann.

Die Teilindizes können gewichtet und damit an die Standortgegebenheiten angepasst werden. Erweiterungsmöglichkeiten von IrA wären zum Beispiel: Teilindizes für Silierfähigkeit, Wasserbedarf und Wurzelbildung (Humuswirkung). Auch sozioökonomisch ausgerichtete Teilindizes sind denkbar. Ein Teilindex

ergibt sich jetzt aus der Abweichung der Leistung einer Winterzwischenfrucht vom Mittel der Leistungen aller untersuchten Winterzwischenfrüchte. Es erscheint möglich, anstelle des Mittels aller geprüften Winterzwischenfrüchte auch feste Zielwerte zu verwenden.

Summary

Evaluation of winter cover crops preceding maize for biogas utilization

In the wake of the "greening" requirements that are part of the new legal framework of the European Commission, the cultivation of cover crops, including winter cover crops, will gain importance. An approach is submitted to evaluate winter cover crops. From the manifold economic and ecological services of winter cover crops, three parameters are selected and evaluated: (1) nitrogen conservation during the winter, (2) methane production, and (3) preceding crop effects on maize. The evaluation is carried out using simple sub-indices mathematically designed in such a way that they are greater the better the performance of the winter cover crop is. Finally, the three sub-indices are added together to obtain the "Index of relative cultivation advantage" (IrA).

33 winter cover crop variants were grown in two-year field trials and the sub-indices calculated. The most favorable IrA values attained mixed stands like the "Landsberger Gemenge" (hairy vetch + Italian ryegrass + crimson clover) and "Wickroggen" (rye + hairy vetch). Winter cereals performed comparatively poorly. Based on the IrA, the large-grained legumes, winter faba beans and winter peas, had the lowest cultivation potential.

IrA can be used for a weak point analysis. Thus, for the winter faba beans, a novel cropping system was already presented which is able to compensate for this field crop's biggest disadvantage, namely its poor nitrogen uptake during the winter months.

The sub-indices can be weighted and thus adapted to specific local conditions. Expansion options for IrA could be for example sub-indices for ensilability, water requirement and root growth (humus effect). Furthermore, socioeconomically-oriented sub-indices are conceivable. An individual sub-index now results from the deviation of a specific performance of a winter cover crop from the mean performance of all tested winter cover crops. It seems possible to use fixed target values instead of the mean performance of all tested winter cover crops.

Résumé

Evaluation des cultures dérobées d'hiver précédant le maïs pour l'utilisation du biogaz

Suite aux exigences formulées en matière de "greening" dans le cadre de la nouvelle législation de la Commission Européenne, la mise en place des cultures dérobées d'hiver revêtira une importance croissante. Une approche sera présentée pour l'évaluation des cultures dérobées d'hiver. Partant des nombreuses prestations économiques et écologiques, on sélectionne et l'on évalue trois paramètres : (1) le potentiel de conservation de l'azote durant l'hiver, (2) la production de méthane et (3) l'effet exercé sur la récolte du maïs qui suit. L'évaluation s'effectue à l'aide de simples sous-indices mathématiquement établis, de telle sorte que la grandeur des cultures dérobées augmente en fonction de la croissance des performances. Finalement, on additionne les trois sous-indices pour obtenir un "index de l'avantage relatif" (IrA) pour l'implantation des cultures dérobées d'hiver.

33 variétés de cultures dérobées d'hiver ont été implantées pendant deux ans en procédant à des essais en champ et l'on a calculé les sous-indices. Les valeurs IrA les plus favorables ont été réalisées pour des mélanges tels que le "Landsberger Gemenge" (vesce velue + ray grass + trèfle incarnat) et la vesce mélangée au seigle (seigle d'hiver + vesce velue). Les variétés de céréales hivernales n'ont pas donné par comparaison de résultats satisfaisants. Sur la base de l'IrA, la culture des légumineuses à gros grains, celle des vicia faba et des pois d'hiver ne présentent qu'un intérêt très minime.

L'IrA permet de faire l'analyse des points faibles. Ainsi un nouveau système de mise en culture des vicia faba

a déjà été présenté qui est capable de compenser, le plus grand désavantage de cette culture, c'est-à-dire la faible réduction d'azote minéral pendant les mois d'hiver.

Les sous-indices peuvent être pondérés et ainsi adaptés aux conditions locales. Les options d'extension de l'IrA seraient par exemple : les sous-indices pour ce qui concerne l'ensilage, les besoins en eau, et la croissance de racines (effet humus). De plus, des sous-indices d'orientation socio-économique sont imaginables.

Un sous-indice résulte à présent de la déviation de la performance spécifique d'une culture dérobée hivernale par rapport à la moyenne des performances de toutes ces cultures dérobées hivernales testées. Il est probable qu'au lieu des performances moyennes de toutes les cultures dérobées hivernales, des valeurs cibles fixes peuvent aussi être utilisées.

LITERATUR

1. ABDOUN, E.; WEILAND, P., 2009: Optimierung der Monovergärung von nachwachsenden Rohstoffen durch Zugabe von Spurenelementen. Bornimer Agrartechnische Berichte, Heft 68, Seite 69 bis 75.
2. ANTHES, J., 2005: Beitrag von Ackerbohne (*Vicia faba* L.), Luzerne (*Medicago sativa* L.) und Saatwicke (*Vicia sativa* L.) zur Selbstregelung der N-Zufuhr in leguminosenbasierten Fruchtfolgen. Dissertation Universität Göttingen.
3. BRAUGERSTEN-JAHRBUCH 2009, Hrsg.: Arbeitsgemeinschaft zur Förderung des Qualitätsergosterbaues im Bundesgebiet e.V. (Braugersten-Gemeinschaft), München, 47. Ausgabe.
4. DEUTSCHER BAUERNVERBAND, 2015: Situationsbericht 2014/15. Ressourcenschutz in der Landwirtschaft. ► www.bauernverband.de/situationsbericht-2015-projekt. Stand 5.März 2015.
5. DIREKTZAHLUNGEN-DURCHFÜHRUNGSGESETZ – DirektZahlDurchfG. Gesetz zur Durchführung der Direktzahlungen an Inhaber landwirtschaftlicher Betriebe im Rahmen von Stützungsregelungen der Gemeinsamen Agrarpolitik vom 9. Juli 2014. Bundesgesetzblatt Jahrgang 2014, Teil I, Nummer 29, Seite 897 bis 905.
6. EG-WASSERRAHMENRICHTLINIE. Richtlinie 2000/60/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 23. Oktober 2000 zur Schaffung eines Ordnungsrahmens für Maßnahmen der Gemeinschaft im Bereich der Wasserpolitik.
7. GARDNER, F.P.; PEARCE, R.B.; MITCHELL, R.L., 1985: Physiology of Crop Plants. Iowa State University Press, Ames.
8. FRANCIS, G.S.; BARTLEY, K.M.; TABLEY, F.J., 1998: The effect of winter cover crop management on nitrate leaching losses and crop growth. *Journal of Agricultural Science* 131, Seite 299 bis 308.
9. FRANKENBERGER, W.T.; ABDELMAGID, H.M., 1985: Kinetic-parameters of nitrogen mineralization rates of leguminous crops incorporated into soil. *Plant and Soil* 87, Seite 257 bis 271.
10. FUCHS, J.; STOCKFISCH, N., 2009: Effizienzentwicklung im Zuckerrübenanbau am Beispiel der N-Düngung. *Zuckerindustrie* 134, Seite 33 bis 41.
11. HEIDKAMP, D.; POST, M., 2009: Bakterien auf die Sprünge helfen. *Agrarvis aktuell*, Heft 2, Seite 26 bis 27.
12. HELFRICH, D.; OECHSNER, H., 2003: Hohenheimer Biogasertragstest. *Agrartechnische Forschung* 9, Heft 3, Seite 27 bis 30.
13. HERRMANN, C.; HEIERMANN, M.; IDLER, C.; SCHOLZ, V., 2007: Parameters influencing substrate quality and biogas yield. From research to market development. 15th European Biomass Conference & Exhibition, 7. to 11. May 2007, Berlin, Seite 809 bis 819.

14. HONEYCUTT, C.W.; POTARO, L.J., 1990: Field-evaluation of heat units for predicting crop residue carbon and nitrogen mineralization. *Plant and Soil* 125, Seite 213 bis 220.
15. KAISER, F.; DIEPHOLDER, M.; EDER, J.; HARTMANN, S.; PRESTEL, H.; GERLACH, R.; ZIEHFREUND, G.; GRONAUER, A., 2004: Ertragspotenziale verschiedener nachwachsender Rohstoffe in landwirtschaftlichen Biogasanlagen. "Biogas in Bayern". Tagungsband zur Jahrestagung am 9. Dezember 2014, Rosenheim, Seite 43 bis 53.
16. KAMH, M.; WIESLER, F.; ULAS, A.; HORST, W.J., 2005: Root growth and N-uptake activity of oilseed rape (*Brassica napus* L.) cultivars differing in nitrogen efficiency. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science* 168, Seite 130 bis 137.
17. KÖNIG, U.J., 1996: Zwischenfruchtanbau von Leguminosen. Abschlußbericht des Forschungsprojektes: Verfahren zur Minimierung der Nitratausträge und Optimierung des N-Transfers in die Folgefrüchte beim Zwischenfruchtanbau von Leguminosen. Schriftenreihe Band 6, Institut für biologisch-dynamische Forschung, Darmstadt.
18. KUO, S.; SAINJU, U.M.; JELLUM, E.J., 1997: Winter cover cropping influence on nitrogen in soil. *Soil Science Society of America Journal* 61, Seite 1392 bis 1399.
19. KUO, S.; JELLUM, E.J., 2000: Long-term winter cover cropping effects on corn (*Zea mays* L.) production and soil nitrogen availability. *Biology and Fertility of Soils* 31, Seite 470 bis 477.
20. LÜTKE ENTRUP, N., 2001: Zwischenfrüchte im umweltgerechten Pflanzenbau. Verlag Th. Mann, Gelsenkirchen.
21. MENKE, C.A., 2011: Evaluierung von Winterzwischenfrüchten in einem Zweikultur-Nutzungssystem mit Mais für die Biogasanlage. Dissertation Universität Göttingen. Cuvillier Verlag, Göttingen.
22. MOKRY, M., 2008: Wert- und Schadstoffe von Gärresten aus Biogasanlagen – Folgerungen für die Verwendung. Landwirtschaftliches Technologiezentrum Augustenberg, Außenstelle Rheinstetten-Forchheim. Workshop "Pflanzliche Rohstoffe zur Biogasgewinnung", IfPP, Heft 1, Kapitel 3.
23. RAUBER, R., 2012: Optimierung des Anbaus von Winterackerbohnen. Versuchsfeldführer Versuchsgut Reinshof der Universität Göttingen, Seite 22 bis 23.
24. REINEKE, T., 2009: Anbau von Energiemais nach Winterzwischenfrüchten. Masterarbeit, Fakultät für Agrarwissenschaften der Universität Göttingen, Abteilung Pflanzenbau.
25. SAUER, B.: Biogas: Energiepflanzen-Mix für natürliche Spurenelemente. ► www.uni-goettingen.de/de/3240.html?cid=5023. Stand 5. März 2015.
26. SAUER, B.; RUPPERT, H., 2011: Spurenelemente in Biogasanlagen: Eine ausreichende Versorgung durch Zufuhr unterschiedlicher Energiepflanzenmischungen oder Gülle ist möglich. Biogaskongress 20./21. September 2011, Göttingen. ► www.bioenergie.uni-goettingen.de/fileadmin/user_upload/admin/tagung_2013/Poster_2013/Sauer_Spurenelemente.pdf. Stand 3. März 2015.
27. SCHMIDT, L.; WEISSBACH, F.; WERNECKE, K.D.; HEIN, E., 1971: Erarbeitung von Parametern für die Vorhersage und Steuerung des Gärverlaufes bei der Grünfuttersillierung zur Sicherung einer hohen Silagequalität. Forschungsbericht, Oskar-Kellner Institut für Tierernährung, Rostock.
28. SCHMIDTKE, K., 1997: Einfluß von Rotklee (*Trifolium pratense* L.) in Reinsaat und Gemenge mit Poaceen auf symbiotische N₂-Fixierung, bodenbürtige N-Aufnahme und CaCl₂-extrahierbare N-Fractionen im Boden. Dissertation Universität Gießen.
29. SMITH, P.F., 1962: Mineral analysis of plant tissues. *Annual Review of Plant Physiology* 13, Seite 81 bis 108.
30. STICKSEL, E.; EDER, B.; EDER, J.; AIGNER, A.; SALZEDER, G.; WEBER, G.; AIGNER, A., 2009: Optimierung von Biogasfruchtfolgen unter bayerischen Anbaubedingungen – Versuchsergebnisse der LfL. Schriftenreihe der Bayerischen Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL), Heft 2, Seite 51 bis 58.

31. STICKSEL, E.; SALZEDER, G.; EDER, J., 2010: Zweikulturnutzungssystem (ZKNS) im Vergleich zu herkömmlichen Anbauverfahren. Biogas Forum Bayern Nr. 1/10, Hrsg.: Arbeitsgemeinschaft Landtechnik und landwirtschaftliches Bauwesen in Bayern e.V., Freising, Seite 1 bis 8.
32. THORUP-KRISTENSEN, K., 2001: Are differences in root growth of nitrogen catch crops important for their ability to reduce soil nitrate-N content, and how can this be measured? Plant and Soil 230, Seite 185 bis 195.
33. VOS, J.; VAN DER PUTTEN, P.E.L., 1997: Field observations on nitrogen catch crops. I. Potential and actual growth and nitrogen accumulation in relation to sowing date and crop species. Plant and Soil 195, Seite 299 bis 309.
34. VOS, J.; VAN DER PUTTEN, P.E.L., 2004: Nutrient cycling in a cropping system with potato, spring wheat, sugar beet, oats and nitrogen catch crops. II. Effect of catch crop on nitrate leaching in autumn and winter. Nutrient Cycling in Agroecosystems 70, Seite 23 bis 31.
35. VYN, T.J.; JANOVICEK, K.J.; MILLER, M.H.; BEAUCHAMP, E.G., 1999: Soil nitrate accumulation and corn response to preceding small-grain fertilization and cover crops. Agronomy Journal 91, Seite 17 bis 24.
36. WEISSBACH, F., 2009: Wie viel Biogas liefern Nachwachsende Rohstoffe? Neue Landwirtschaft, Heft 11, Seite 107 bis 112.

Dank und Autorenanschrift

Besonderer Dank gilt der Deutschen Bundesstiftung Umwelt (DBU), Osnabrück, für die finanzielle Unterstützung.

DR. CHRISTIAN ANTONIUS MENKE und PROF. DR. ROLF RAUBER
Abteilung Pflanzenbau
Georg-August-Universität Göttingen
Von-Siebold-Str. 8
37075 Göttingen
Deutschland

► cmenke@uni-goettingen.de
► r-rauber@uni-goettingen.de