



Dr. Siegfried Schittenhelm  
- Koordinator -  
Julius-Kühn-Institut (JKI)  
Institut für Pflanzenbau und Bodenkunde  
Bundesallee 50, 38116 Braunschweig  
siegfried.schittenhelm@jki.bund.de



Dr. Sandra Kruse  
Landwirtschaftliches Technologiezentrum Augustenberg (LTZ)  
Außenstelle Rheinstetten-Forchheim  
Kutschenweg 20, 76287 Rheinstetten  
sandra.kruse@ltz.bwl.de



Johannes Hufnagel  
Leibniz-Zentrum für Agrarlandschaftsforschung (ZALF) e.V.  
Institut für Landnutzungssysteme  
Eberswalder Straße 84, 15374 Müncheberg  
jhufnagel@zalf.de



---

<u>Inhaltsverzeichnis</u>	Seite	
1	Vorbemerkungen (Dr. S. Schittenhelm, JKI)	3
1.1	Projektpartner und Versuche	3
1.2	Standorte und Witterung	4
1.3	Bewässerung und Bewässerungssteuerung	8
1.4	Bestimmung der theoretischen Methanausbeute	9
1.5	Arbeitstreffen	10
1.6	Öffentlichkeitsarbeit	10
2	Versuch I. Ermittlung der Biomasse- und Energieerträge von spätreifen Energiemaisformen bei unterschiedlicher Wasserversorgung (Dr. S. Schittenhelm, JKI)	11
3	Versuch II. Einfluss der Wasserversorgung auf die Rohstoffqualität beim Mischanbau (Dr. S. Schittenhelm, JKI)	24
4	Versuch III. Möglichkeiten der Zusatzbewässerung zur Nutzung von zwei Kulturen pro Jahr	35
4.1	Erläuterungen zum Versuch (Dr. S. Schittenhelm, JKI)	35
4.2	Versuchsstandort Braunschweig (Dr. S. Schittenhelm, JKI)	38
4.3	Versuchsstandort Forchheim (Dr. S. Kruse, LTZ)	45
4.4	Versuchsstandort Müncheberg (J. Hufnagel und G. Rosner, ZALF)	60
4.5	Zusammenfassende Bewertung (Dr. S. Schittenhelm, JKI)	75
5	Versuch IV. Ermittlung der Bewässerungswürdigkeit von verschiedenen Energiepflanzenarten (Dr. S. Kruse, LTZ)	85
6	Literatur	116
7	Anhang	118

## **1 Vorbemerkungen (Dr. S. Schittenhelm, JKI)**

### **1.1 Projektpartner und Versuche**

An dem Teilprojekt 5 'Einfluss von Zusatzbewässerung auf den Biogasertrag von Energiepflanzen' innerhalb des Verbundvorhabens 'Entwicklung und Vergleich von optimierten Anbausystemen für die landwirtschaftliche Produktion von Energiepflanzen unter den verschiedenen Standortbedingungen Deutschlands; EVA' waren folgende Partner beteiligt:

- Julius-Kühn-Institut (**JKI**) in Braunschweig (Koordination),
- Landwirtschaftliches Technologiezentrum Augustenberg (**LTZ**) in Forchheim sowie
- Leibniz-Zentrum für Agrarlandschaftsforschung (**ZALF**) e.V. in Müncheberg.

Im Verlaufe des Projektes haben bei zwei Partnern organisatorische Veränderungen stattgefunden. Mit Wirkung vom 1.1.2007 wurde die Landesanstalt für Pflanzenbau Forchheim (LAP) mit der Landesanstalt für Pflanzenschutz Stuttgart und der Landwirtschaftlichen Untersuchungs- und Forschungsanstalt Augustenberg zum Landwirtschaftlichen Technologiezentrum Augustenberg (LTZ) zusammengeführt. Außerdem ist mit Wirkung vom 1.1.2008 das Julius Kühn-Institut (JKI) entstanden durch den Zusammenschluss der Biologischen Bundesanstalt für Land- und Forstwirtschaft (BBA), der Bundesanstalt für Züchtungsforschung an Kulturpflanzen (BAZ) und den Instituten für Pflanzenbau und Grünlandwirtschaft sowie für Pflanzenernährung und Bodenkunde der ehemaligen Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft (FAL). Die beiden letztgenannten Institute wurden zu dem neuen JKI-Institut für Pflanzenbau und Bodenkunde zusammengelegt.

Im Rahmen von Teilprojekt 5 wurden vier Versuche durchgeführt:

- I. Ermittlung der Biomasse- und Energieerträge von spätreifen Energiemaisformen bei unterschiedlicher Wasserversorgung (**JKI**)
- II. Untersuchungen zum Einfluss der Wasserversorgung auf die Rohstoffqualität beim Mischanbau (**JKI**)
- III. Möglichkeiten der Zusatzbewässerung zur Nutzung von zwei Kulturen pro Jahr (**JKI, LTZ, ZALF**)
- IV. Ermittlung der Bewässerungswürdigkeit von verschiedenen Energiepflanzenarten (**LTZ**)

## 1.2 Standorte und Witterung

Die Versuchstandorte des EVA Teilprojektes 5 liegen im Rheingraben (Forchheim), in der Norddeutschen Tiefebene (Braunschweig) bzw. im Osten Brandenburgs nahe der deutsch-polnischen Grenze (Müncheberg; s. Abbildung 1.1). Wichtige Boden- und Klimakenngrößen der drei Standorte sind in Tabelle 1.1 zusammengestellt.

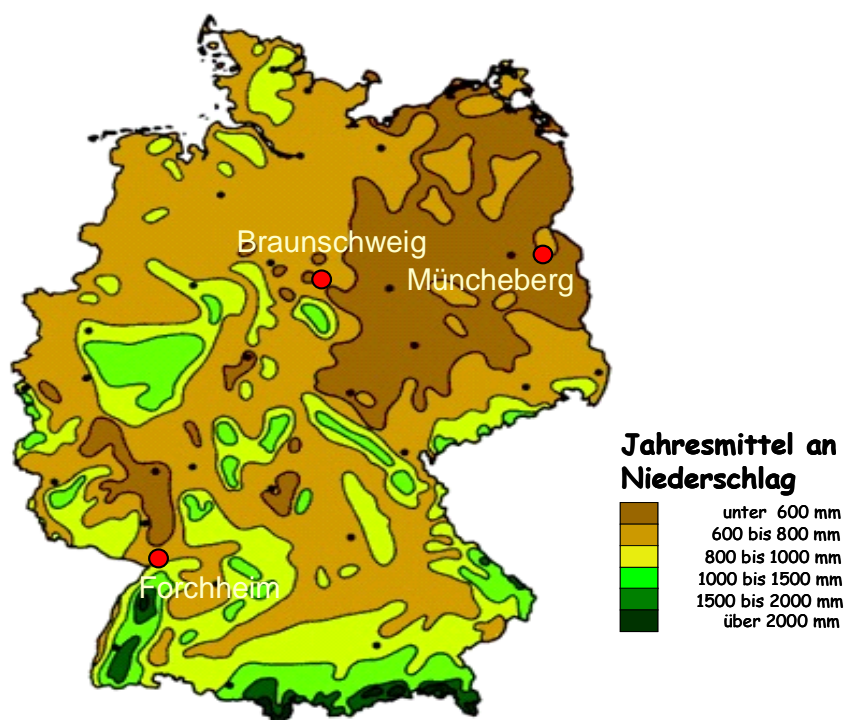


Abbildung 1.1. Lage der drei Versuchsstandorte.

Die Witterung in den drei Versuchsjahren hätte kaum unterschiedlicher ausfallen können (Tabelle 1.2). Das Jahr 2005 war im Hinblick auf Temperatur und Niederschlag an den drei Standorten annähernd ein Durchschnittsjahr. Im Gegensatz dazu war 2006 ein ausgesprochenes Trockenjahr und somit für Bewässerungsversuche hervorragend geeignet. In den Monaten Juni und Juli des Jahres 2006 gab es im gesamten Bundesgebiet fast keinen Regen. Mangelnder Niederschlag in Verbindung mit hohen Lufttemperaturen trockneten die Böden extrem aus. In der Bewässerungsvariante 'Minimal' musste an allen drei Versuchsstandorten eine Notfallbewässerung zur Kultursicherung durchgeführt werden. Das Jahr 2007 begann mit einem ungewöhnlich trockenen April. In Braunschweig und Müncheberg gab es im Juli, August und September ungewöhnlich viel Niederschlag. Wesentlich günstigere Bedingungen für Bewässerungsversuche existierten 2007 in Forchheim. Dort war es von Mai bis September deutlich trockener und wärmer als in Braunschweig und Müncheberg.

Tabelle 1.1. Kenngrößen zu Klima und Boden für die drei Versuchsstandorte Braunschweig, Forchheim und Müncheberg.

Parameter	Braunschweig	Forchheim	Müncheberg
Bodentyp	Bänderparabraunerde	Parabraunerde	Sandbraunerde
FAO-Bodenklassifikation	Lamellic Luvisol	Haplic Luvisol	Eutric Cambisol
Bodenart	Schluffig-lehmiger Sand	Anlehmiger Sand	Anlehmiger Sand
Ackerzahl	41	28 bis 32	25 bis 28
Geographische Lage	52°17' N, 10°26' E	48°96 N, 8°33' E	52°52' N, 14°12' E
Höhe über NN, m	81	117	62
Jahresmitteltemperatur <sup>†</sup> , °C	9,1	10,6	8,8
Jahresniederschlag <sup>†</sup> , mm	627	770	562
Mittlere Sonnenscheindauer, h/a	1.548	1.704	1.666
Vegetationszeit >10 °C, d	177	207	170
Frostfrei, d	288	306	314
Feldkapazität (60 cm Bodentiefe), mm	120	102	108
Nutzb. Feldk. (60 cm Bodentiefe), mm	96	70	90
Grundwasserflurabstand, m	10	8	8

<sup>†</sup> Mittel der Jahre 1961 bis 2004 (DWD).

Tabelle 1.2. Mittlere monatliche Werte für Lufttemperatur und Niederschlag sowie Abweichungen von den langjährigen<sup>†</sup> Monatsmittelwerten an den Standorten Braunschweig, Forchheim und Müncheberg für die Jahre 2005, 2006 und 2007.

	Lufttemperatur						Niederschlag					
	Braunschweig		Forchheim		Müncheberg		Braunschweig		Forchheim		Müncheberg	
	(°C)						mm					
<b>2005</b>												
Januar	3,5	(+2,6)	3,2	(+2,0)	2,6	(+2,0)	46	(0)	33	(-24)	34	(-2)
Februar	0,1	(-1,2)	0,5	(-2,0)	-1,0	(-0,9)	38	(+3)	40	(-14)	37	(+8)
März	4,5	(+0,2)	6,1	(+0,1)	2,6	(-0,9)	28	(-17)	31	(-22)	12	(-23)
April	10,1	(+1,9)	11,1	(+1,2)	9,1	(+1,5)	30	(-15)	74	(+14)	10	(-27)
Mai	13,1	(+0,1)	14,8	(+0,5)	13,2	(+0,2)	64	(+11)	59	(-20)	84	(+33)
Juni	16,2	(+0,3)	19,5	(+2,0)	16,1	(+0,1)	12	(-55)	33	(-54)	44	(-18)
Juli	18,4	(+0,9)	20,1	(+0,5)	18,8	(+0,8)	80	(+17)	77	(+7)	127	(+77)
August	16,3	(-1,2)	17,7	(-1,1)	16,4	(-1,3)	53	(-10)	73	(+7)	61	(+10)
September	15,8	(+1,9)	16,9	(+1,5)	15,2	(+1,9)	50	(-1)	50	(-2)	33	(-10)
Oktober	11,7	(+2,0)	12,1	(+1,7)	10,7	(+2,1)	37	(-9)	44	(-14)	37	(+2)
November	5,5	(+0,5)	5,1	(-0,2)	4,2	(+0,5)	31	(-18)	32	(-33)	18	(-22)
Dezember	2,3	(+0,5)	2,0	(-0,2)	0,8	(-0,5)	44	(-8)	54	(-13)	49	(-1)
<b>2006</b>												
Januar	-2,1	(-3,0)	-1,1	(-2,3)	-4,7	(-4,1)	22	(-24)	20	(-37)	11	(-26)
Februar	0,4	(-0,9)	1,6	(-0,9)	-0,6	(-0,5)	29	(-7)	49	(-5)	23	(-6)
März	2,0	(-2,3)	4,3	(-1,7)	0,8	(-2,6)	41	(-4)	68	(+15)	32	(-3)
April	8,7	(+0,5)	10,3	(+0,4)	8,7	(+1,1)	28	(-18)	37	(-23)	43	(+6)
Mai	13,6	(+0,6)	15,3	(+1,0)	13,4	(+0,4)	55	(+2)	42	(-37)	46	(-6)
Juni	16,9	(+1,0)	19,1	(+1,6)	17,8	(+1,8)	52	(-16)	78	(-9)	18	(-45)
Juli	22,6	(+5,1)	24,6	(+5,0)	23,2	(+5,2)	16	(-48)	27	(-43)	25	(-26)
August	16,3	(-0,7)	17,1	(-1,7)	17,1	(-0,6)	103	(+40)	143	(+77)	73	(+22)
September	18,0	(+4,1)	17,8	(+2,4)	17,5	(+4,2)	10	(-42)	29	(-23)	19	(-24)
Oktober	13,2	(+3,4)	13,1	(+2,7)	11,8	(+3,2)	34	(-12)	132	(+74)	26	(-10)
November	8,4	(+5,0)	7,8	(+2,5)	7,1	(+3,4)	29	(-20)	54	(-11)	32	(-8)
Dezember	6,1	(+1,8)	4,4	(+2,2)	5,2	(+4,0)	29	(-23)	41	(-26)	25	(-24)

Tabelle 1.2. Mittlere monatliche Werte für Lufttemperatur und Niederschlag sowie Abweichungen von den langjährigen<sup>†</sup> Monatsmittelwerten an den Standorten Braunschweig, Forchheim und Müncheberg für die Jahre 2005, 2006 und 2007.

	Lufttemperatur						Niederschlag					
	Braunschweig		Forchheim		Müncheberg		Braunschweig		Forchheim		Müncheberg	
	(°C)						mm					
<u>2007</u>												
Januar	5,7	(+4,9)	6,0	(+4,8)	4,9	(+5,3)	89	(+43)	33	(-24)	105	(+68)
Februar	4,6	(+3,3)	5,8	(+3,3)	2,6	(+2,5)	57	(+21)	62	(+8)	46	(+17)
März	7,4	(+3,1)	7,1	(+1,1)	6,7	(+3,2)	61	(+15)	54	(+1)	54	(+19)
April	11,8	(+3,6)	13,9	(+4,0)	10,8	(+3,2)	7	(-39)	0	(-60)	1	(-36)
Mai	14,6	(+1,6)	16,2	(+1,9)	15,1	(+2,1)	123	(+70)	96	(+17)	111	(+59)
Juni	18,1	(+2,2)	19,2	(+1,7)	18,6	(+2,6)	71	(+4)	73	(-14)	50	(-12)
Juli	17,7	(+0,2)	19,0	(-0,6)	18,3	(+0,3)	83	(+19)	62	(-8)	108	(+58)
August	17,3	(-0,2)	18,6	(-0,2)	17,8	(+0,1)	159	(+96)	63	(-3)	92	(+40)
September	13,7	(-0,2)	13,5	(-1,9)	13,2	(-0,1)	138	(+86)	46	(-6)	72	(+29)
Oktober	8,9	(-0,8)	9,6	(-0,8)	8,2	(-0,6)	29	(-17)	6	(-52)	6	(-30)

<sup>†</sup> Braunschweig: 1962 bis 2005, Forchheim: 1962 bis 1990, Müncheberg: 1949 bis 1999.

### 1.3 Bewässerung und Bewässerungssteuerung

In den Versuchen I, III und IV wurden zwei **Bewässerungsregime** praktiziert. Während bei der Variante 'Optimal' die Bodenfeuchte nicht unter 50% absinken sollte, wurden die Variante 'Minimal' nur dann bewässert, wenn die akute Gefahr eines trockenheitsbedingten Verlustes des Pflanzenbestandes bestand. Eine solche Notfallbewässerung zur Kultursicherung war in den Jahren 2005 und 2006 erforderlich. Mit Beginn der Abreife wurde die Beregnung bzw. Bewässerung eingestellt. Für die Bewässerungssteuerung wurde das vom Deutschen Wetterdienst entwickelte Programm 'Agrowetter' verwendet. 'Agrowetter' basiert auf einem Wasserbilanzmodell welches die Startbodenfeuchte berücksichtigt. Als Wasserquelle fungieren Niederschlag und Zusatzbewässerung, als Wassersenken Verdunstung und Sickerung. Die aktuelle Verdunstung ( $ET_a$ ) wird mit Hilfe einer Referenzverdunstung ( $ET_o$ ), welche der maximal möglichen Verdunstung über Gras entspricht, in Abhängigkeit von der Kulturart und dem jeweiligen Entwicklungsstand berechnet.  $ET_o$  wird mit kulturartspezifischen Koeffizienten, den so genannten  $k_c$ -Faktoren multipliziert (Geisenheimer Methode). Der Leitkultur Mais liegen folgende  $k_c$ -Faktoren zugrunde: 0,4 ab Auflaufen; 0,9 ab 7. Blatt; 1,2 ab Rispschieben; 1,0 ab Ende Blüte (Wolfgang Jansen, DWD, persönliche Mitteilung). Bei dem am JKI durchgeführten Versuch I wurden die 'Agrowetter'-Prognosen kontinuierlich durch Bodenfeuchtemessungen mittels ML2x-Sonden (Delta-T, Cambridge) kontrolliert. Bei dem Folientunnelversuch (Versuch II) wurde mit drei Bodenfeuchten gearbeitet: 15-30, 40-50 und 60-80% nutzbare Feldkapazität (nFK) entsprechend starkem, leichtem bzw. keinem Trockenstress. Die Bewässerungssteuerung erfolgte ebenfalls mit Hilfe von ML2x-Sonden.

Das Verhältnis des durch Evapotranspiration (ET) während der Vegetationsperiode verbrauchten Wassers zu der produzierten oberirdischen Trockenmasse wird nachfolgend als Evapotranspirationskoeffizient (ETK;  $\text{mm kg}^{-1}$ ) bezeichnet. Die **Wassernutzungseffizienz** (water use efficiency, **WUE**) wurde in Anlehnung an die angelsächsische Literatur als Verhältnis von oberirdischer Trockenmasse zu ET berechnet. Die Wassernutzungseffizienz ist der reziproke Wert des Evapotranspirationskoeffizienten. Die Evapotranspiration im Zeitraum von Aufgang bis Ernte wurde entsprechend der Wasserhaushaltsgleichung (Ehlers, 1997) wie folgt berechnet:

$$ET = N + B - A - S + \Delta R \text{ (mm)}$$

mit Niederschlag N, Bewässerung B, Oberflächenabfluss A, Sickerung S und Änderung des Bodenwasservorrats im Bodenprofil  $\Delta R$ . Ein Oberflächenabfluss



trat lediglich in Versuch III am Standort Forchheim auf. Die Sickerung wird von 'Agrowetter' berechnet. Dabei wird angenommen, dass alles überschüssige Wasser oberhalb von 150% nFK sofort versickert und bei einer Bodenfeuchte zwischen 100 und 150% nFK täglich jeweils die Hälfte versickert, wobei die Verdunstung weiterhin voll wirksam ist und das überschüssige Wasser zusätzlich abbaut. Die Effizienz der Nutzung des Zusatzwassers (in der angelsächsischen Literatur als 'irrigation water use efficiency' oder kurz ' $I_{WUE}$ ' bezeichnet) wurde berechnet als Differenz zwischen dem TM-Ertrag bei 'optimaler' und 'minimaler' Bewässerung dividiert durch die Zusatzwassermenge bei 'optimaler' Bewässerung.

#### **1.4 Bestimmung der theoretischen Methanausbeute**

Für den Methanertrag wurden entsprechend der Handreichung Biogasgewinnung und -nutzung (Schattauer und Weiland, 2004; Seite 30) für verdauliches Eiweiß, verdauliches Fett und verdauliche Kohlenhydrate Werte von 650, 1125 bzw. 750 L (kg oTM)<sup>-1</sup> und für den Methangehalt Werte von 72,5, 70,5 bzw. 52,5 Vol.% zugrunde gelegt. Die theoretische Methanausbeute wurde auf Basis der Nährstoffgehalte (Weender Analyse) und der Verdaulichkeitskoeffizienten zum Zeitpunkt der Ernte berechnet. Die Verdaulichkeitskoeffizienten wurden der DLG-Futterwerttabelle Wiederkäuer entnommen (DLG, 1997). Bei Mais ist neben dem Entwicklungsstadium (Milchreife, Beginn Teigreife, Ende Teigreife) auch der Kolbenanteil bezogen auf die Trockenmasse von Bedeutung. Der Kolbenanteil an der Gesamttrockenmasse wurde an jeweils drei repräsentativen Pflanzen aus den 'Minimal' und 'Optimal' bewässerten Parzellen ermittelt. Die kritischen Entwicklungsstadien sind bei der Sonnenblume: Vor der Blüte, in der Blüte und Ende der Blüte, bei Roggen: Beginn Ährenschieben, volles Ährenschieben, Beginn Blüte, Mitte bis Ende Blüte, Teigreife (ca. 33% Kornanteil) und Teigreife (ca. 50% Kornanteil) und beim Welschen Weidelgras: Beginn Ährenschieben, volles Ährenschieben, Beginn Blüte, Mitte bis Ende Blüte sowie nach der Blüte. Da die Futterhirse in der DLG-Futterwerttabelle nicht aufgeführt ist, wurden die dort für Sudangras angegebenen Werte verwendet. Es ist jedoch festzuhalten, dass die so berechneten theoretischen Methanausbeuten und Methanerträge lediglich als eine grobe Annäherung an die Ausbeuten und Erträge anzusehen sind wie sie in der Biogasanlage erzielt werden. Die Ergebnisse konnten im Rahmen dieses Teilprojektes nicht durch Batchversuche verifiziert werden.

## **1.5 Arbeitstreffen**

Während der Projektlaufzeit haben regelmäßige Arbeitstreffen der Projektpartner von Teilprojekt 5 stattgefunden. Die ersten drei Arbeitstreffen fanden am 20.6.2005, 12.1.2006 und 13.2.2007 jeweils am JKI in Braunschweig statt. Das 4. Arbeitstreffen erfolgte am 29.1.2008 am ZALF in Müncheberg. Die Arbeitsschwerpunkte auf diesen Treffen bildeten neben einem allgemeinen Erfahrungsaustausch die Anlage, Durchführung und Auswertung der Versuche. Darüber hinaus wurden Fragen zur Bewässerungssteuerung diskutiert und gemeinsame Veröffentlichungen vorbereitet. Von den Arbeitstreffen wurden Ergebnisprotokolle angefertigt.

## **1.6 Öffentlichkeitsarbeit**

Im Verlauf des Projektes erfolgte eine intensive Öffentlichkeitsarbeit in Form von Vorträgen und Veröffentlichungen. Von den Vorträgen seien hier exemplarisch genannt der 2nd Energy Farming Congress vom 13.-15.3.2007 in Papenburg (Dr. S. Schittenhelm), die 9. EUROSOLAR-Konferenz vom 16.-17.4.2007 in Potsdam (J. Hufnagel), die internationale Konferenz über Progress in Biogas vom 19.-21.9.2007 in Stuttgart (Dr. S. Kruse), der 2. und 3. Workshop Biogas in Forchheim am 27.9.2007 und 1.10.2008 (Dr. S. Kruse) und die Agritechnica am 17.11.2007 in Hannover (Dr. S. Schittenhelm sowie Dr. S. Kruse). Des Weiteren wurden auf der 50. Jahrestagung der Gesellschaft für Pflanzenbauwissenschaften in Bonn vom 18.-20.9.2007 (T. Neumann) und auf der 51. Jahrestagung dieser Gesellschaft am 30.9.2008 in Göttingen (Dr. S. Schittenhelm) Poster präsentiert. Veröffentlichungen in den landwirtschaftlichen Fachzeitschriften 'DLG-Mitteilungen' (Schittenhelm und Toews, 2007) und 'Neue Landwirtschaft' (Toews und Schittenhelm, 2008; Schittenhelm et al., 2008) hatten die Wirtschaftlichkeit der Bewässerung von Energiemais bzw. allgemein von Energiepflanzen zum Gegenstand. Eine weitere Veröffentlichung in 'Neue Landwirtschaft' (Schittenhelm et al., 2007) präsentierte Ergebnisse zu verschiedenen Aspekten der Bewässerung von Energiepflanzen.

## 2 Versuch I. Ermittlung der Biomasse- und Energieerträge von spätreifen Energiemaisformen bei unterschiedlicher Wasserversorgung (Dr. S. Schittenhelm, JKI)

Einhergehend mit der rasch wachsenden Zahl von Biogasanlagen nimmt auch der Anbau von Energiemais als Biogassubstrat zu. An den derzeit etwa 400.000 ha Ackerfläche mit Biogaspflanzen hält der Mais mit ca. 80% bzw. 320.000 ha den Löwenanteil. Diese Dominanz verdankt der Mais seinem hohen Methanhektarertrag sowie der guten Silierfähigkeit und Mechanisierbarkeit der Produktion.

Merkmale	Flavi (S250)	Mikado (S500)
Wuchshöhe (cm)	225	292
Kolbenansatzhöhe (cm)	109	154
Anzahl Blätter	15,6	19,5
Fläche Einzelblatt (dm <sup>2</sup> )	3,36	4,76
Blattfläche Pflanze (m <sup>2</sup> )	0,52	0,92
TS-Gehalt Gesamtpflanze (%)	39	22

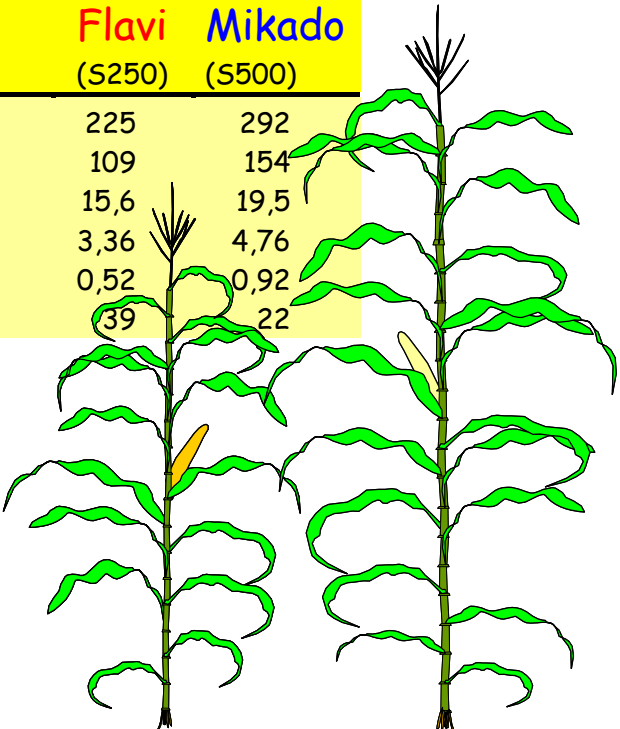


Abbildung 2.1. Konventionelle Silomaisart Flavi (links) neben dem Energiemaisprototyp Mikado (rechts). Die Größenverhältnisse entsprechen denen wie sie im Jahr 2005 mit Zusatzbewässerung im Feldversuch am JKI in Braunschweig gemessen wurden.

In der Maiszüchtung existiert hinsichtlich des **optimalen Sortentyps** für die Biogasproduktion kein einheitliches Meinungsbild (Degenhardt, 2005; Landbeck und Schmidt, 2005). Es ist jedoch davon auszugehen, dass zukünftige Energiemaisarten spätreifer und massereicher sein werden als die heutigen Silomaisarten. Eine Vorstellung davon in welche Richtung sich die Sorten voraussichtlich verändern werden gibt Abbildung 2.1. Die in der Abbildung dargestellte Sorte Flavi repräsentiert mit der Reifezahl S250 eine Silomaisart wie sie am Standort Braunschweig zum Einsatz kommt. Die daneben stehende Sorte

Mikado repräsentiert einen Energiemaisprototyp mit einer deutlich größeren Wuchshöhe und Gesamtblattfläche. Letztere ist das Ergebnis einer größeren Anzahl Blätter sowie einer größeren Fläche der Einzelblätter.

Als C4-Pflanze hat der Mais eine vergleichsweise gute Wassernutzungseffizienz. In Lehrbüchern finden sich für den Transpirationskoeffizienten (TK) von Mais Werte von 300-400 (Geisler, 1988) und 349 L kg<sup>-1</sup> TM (Kahnt, 1995). Die niedrigeren TK-Werte von 203 L kg<sup>-1</sup> TM in der jüngeren Untersuchung von Günther (2003) sind möglicherweise auf besser ernährte Pflanzen mit einem höheren Ertragspotenzial zurückzuführen. Allerdings wird bei den züchterisch angestrebten hohen Erträgen von 30 t Trockenmasse pro Hektar der Bodenwasservorrat künftig stärker beansprucht. Selbst bei einem angenommenen niedrigen Evapotranspirationskoeffizienten von 203 L kg<sup>-1</sup> TM (Günther, 2003) sind zur Realisierung dieses Ertrages über 600 mm Wasser erforderlich. Da massenreicher Energiemais eine größere Blattfläche aufweist, stellt sich zudem die Frage, ob diese zusätzliche Blattfläche zu einer höheren Nettophotosynthese beiträgt oder ob sie, wegen zunehmender Beschattung der unteren Blätter, lediglich eine photosynthetisch unproduktive Verdunstungsfläche darstellt. Der vorliegende Versuch sollte deshalb auch die Frage beantworten, ob Energiemais einen höheren spezifischen Wasserverbrauch aufweist und mehr Wasser verbraucht als herkömmliche Silomaisarten.

Die Versuche wurden in den Jahren 2005, 2006 und 2007 auf dem Versuchsfeld des JKI in Braunschweig durchgeführt. Das **Versuchsdesign** war eine zweifaktorielle Spaltanlage mit vier Wiederholungen. In den Abbildungen 2.2 und 2.3 ist exemplarisch die Versuchsanlage für das Versuchsjahr 2005 schematisch bzw. bildlich dargestellt. Die drei Sorten Flavi, PR36K67 und Mikado waren den Kleinteilstücken und die beiden **Wasserregime** ('Minimal' und 'Optimal') den Großteilstücken zugeordnet. Die Sorte Flavi (S250) repräsentiert eine standortangepasste Silomaisart, Mikado (ca. S500) einen Energiemaisprototyp und PR36K67 (S370) nimmt eine Mittelstellung ein. Die Zusatzbewässerung erfolgte mittels druckkompensierender Tropfschläuche (NETAFIM RAM 17; 30 cm Tropfabstand). In der Variante 'Minimal' wurde nur dann zusätzlich bewässert wenn der natürliche Niederschlag nicht ausreichte um Kulturschädigungen zu vermeiden. Die Notfallbewässerung zur Kultursicherung in den 'minimal' bewässerten Parzellen erfolgte mit einem Beregnungswagen wobei die Variante 'Optimal' immer gleich mitbewässert wurde. Bei 'optimaler' Bewässerung wurde die nutzbare Feldkapazität (nFK) stets über 50% gehalten. In der Variante 'Minimal' wurden 31 mm (2005), 41 mm (2006) und 0 mm (2007) Zusatzwasser ausgebracht. In der Variante 'Optimal' waren es dagegen 145 mm (2005), 184 mm (2006) und 50 mm (2007).

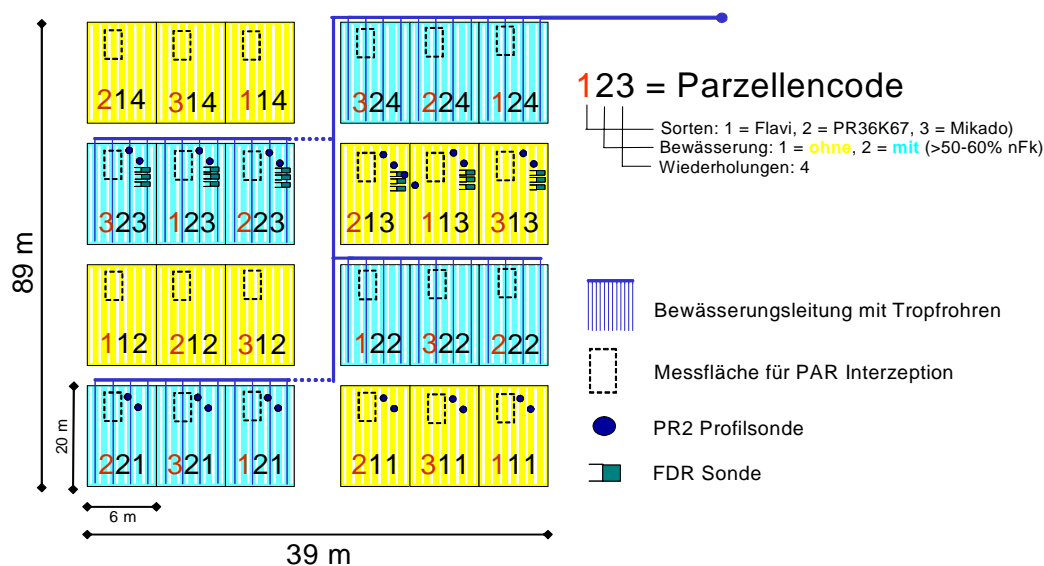


Abbildung 2.2. Schematische Darstellung der Versuchsanlage für Energiemais in Braunschweig 2005.

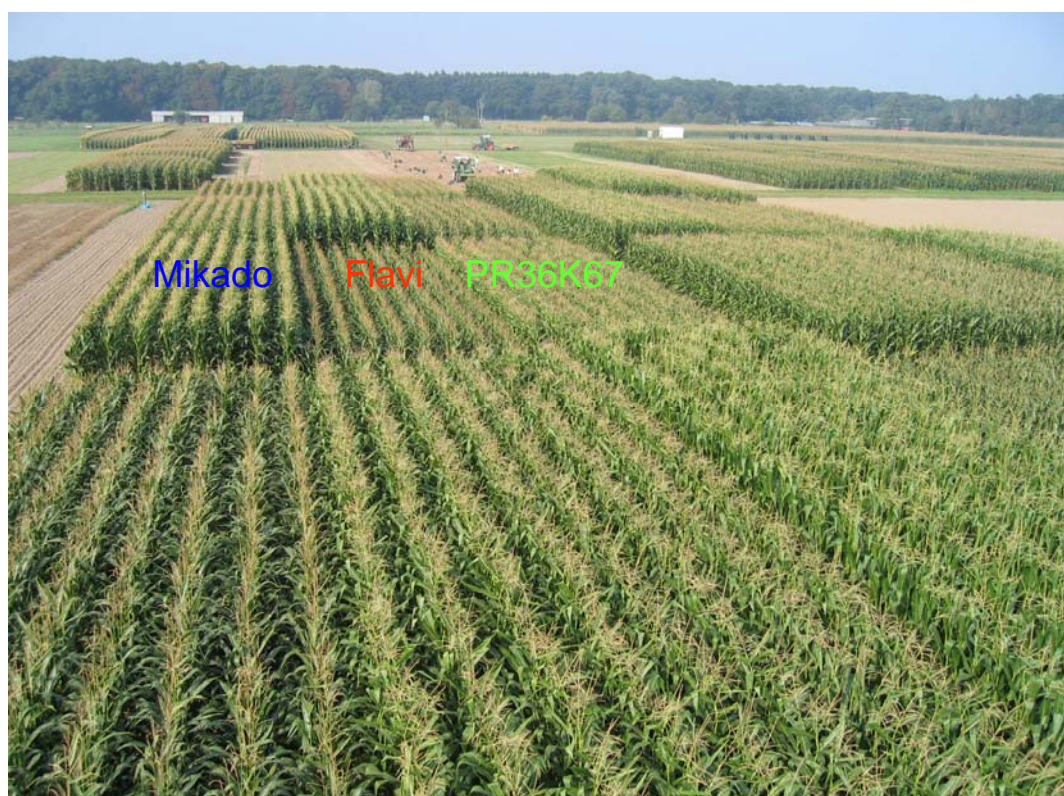


Abbildung 2.3. Blick auf den Bewässerungsversuch mit Energiemais am 8.9.2005.

Jede Parzelle bestand aus acht 20 m langen Reihen (120 m<sup>2</sup> Fläche). Der Abstand zwischen den Reihen betrug 75 cm und in der Reihe 13,2 cm (10 Pflanzen pro m<sup>2</sup>). Detaillierte Anbauinformationen (Aussaat, Düngung, Pflanzenschutz, Bewässerung etc.) für die drei Versuchsjahre finden sich in den

Tabellen A7.1 bis A7.3 im Anhang. Die Messung der **Bodenfeuchte** im durchwurzelten Boden (0 bis 60 cm) erfolgte in sämtlichen Versuchsvarianten einer Wiederholung mittels ML2x-Sonden (Delta-T, Cambridge). Im Jahr 2005 wurden pro Parzelle drei Sonden in Bodentiefen von 10, 30 und 50 cm und in den Jahren 2006 und 2007 zwei Sonden in Bodentiefen von 15 und 45 cm eingebaut (Abbildung 2.4).



Abbildung 2.4. Installation der ML2x-Sonden am 12.5.2005.

In den drei Versuchsjahren wurden im Verlauf der Vegetationsperiode verschiedene **morphologische und phänologische Merkmale** erfasst. Deutliche Sortenunterschiede in der Keimschnelligkeit waren lediglich im Jahr 2005 zu verzeichnen wo die Zeit bis zum Feldaufgang für den in Italien zugelassenen wärmebedürftigen Energiemaisprototyp Mikado knapp zwei Tage länger dauerte als für die standortangepasste Sorte Flavi (Tabelle 2.1). Aus Tabelle 1.2 ist ersichtlich, dass die durchschnittliche Lufttemperatur in dem für den Feldaufgang relevanten Monat Mai im Jahr 2005 deutlich niedriger war als im Jahr 2006 und insbesondere 2007. Aufgrund der stark unterschiedlichen Reifezahlen existierten erwartungsgemäß in allen Versuchsjahren deutliche Sortenunterschiede für die Zeit bis zur männlichen bzw. weiblichen Blüte. Im Trockenjahr 2006 wurde sowohl die männliche als auch die weibliche Blüte signifikant durch das Wasserregime beeinflusst. Im Mittel der drei Sorten führte die Zusatzbewässerung zu einer um acht und neun Tage früheren männlichen bzw. weiblichen Blüte. Mit Ausnahme des niederschlagsreichen Jahres 2007 bewirkte die

Zusatzbewässerung eine signifikante Zunahme von Wuchs- und Kolbenhöhe. Die größte Wuchs- und Kolbenhöhe erzielte mit 298 bzw. 170 cm die Sorte Mikado unter Zusatzbewässerung im Jahr 2006. Die Zusatzbewässerung hatte lediglich im Jahr 2005 eine signifikant höhere Anzahl Blätter pro Pflanze zur Folge. In allen drei Versuchsjahren gab es signifikante Sortenunterschiede für die Blattzahl pro Pflanze. Die Sorte Mikado besaß gegenüber der Sorte Flavi im Mittel der Versuchsjahre und Wasserregime 3,9 zusätzliche Blätter.

Tabelle 2.1. Mittelwerte für morphologische und phänologische Merkmale von drei Maissorten bei 'minimaler' und 'optimaler' Bewässerung sowie Signifikanz der Varianzkomponenten für die Jahre 2005, 2006 und 2007.

Jahr (J)	Wasserregime (W)	Genotyp (G)	Feldaufgang d	Männl. Blüte d	Weibl. Blüte d	Wuchshöhe cm	Kolb.-höhe cm	Blätter/Pflanze Anzahl	
2005	'Minimal'	Flavi	15,8	89	91	188	90	15,1	
		PR36K67	16,0	101	102	222	114	18,8	
		Mikado	17,3	113	114	251	127	19,0	
		Mittel	16,3	101	102	220	111	17,6	
	'Optimal'	Flavi	16,0	90	91	225	109	15,6	
		PR36K67	16,3	102	102	260	139	19,0	
		Mikado	17,8	112	113	292	154	19,5	
		Mittel	16,7	101	102	259	134	18,0	
	GD ( $P < 0,05$ ) <sup>†</sup>			-	-	-	9	9	0,3
	GD ( $P < 0,05$ ) <sup>‡</sup>			-	-	-	-	-	-
<u>Signifikanz der F-Werte aus der Varianzanalyse</u>									
W			NS	NS	NS	**	**	*	
G			**	**	**	**	**	**	
G x W			NS	NS	NS	NS	NS	NS	
-----									
2006	'Minimal'	Flavi	10,0	89	90	154	94	15,9	
		PR36K67	10,5	96	96	143	88	18,3	
		Mikado	10,0	99	102	183	101	19,8	
		Mittel	10,2	95	96	160	95	18,0	
	'Optimal'	Flavi	10,0	82	82	262	126	16,5	
		PR36K67	10,5	87	87	273	147	18,8	
		Mikado	10,3	93	94	298	170	20,6	
		Mittel	10,3	87	87	278	148	18,6	
	GD ( $P < 0,05$ ) <sup>†</sup>			-	3	3	23	12	-
	GD ( $P < 0,05$ ) <sup>‡</sup>			-	-	-	-	10	-
<u>Signifikanz der F-Werte aus der Varianzanalyse</u>									
W			NS	**	**	**	**	NS	
G			*	**	**	**	**	**	
G x W			NS	NS	NS	NS	**	NS	

Tabelle 2.1. Mittelwerte für morphologische und phänologische Merkmale von drei Maissorten bei 'minimaler' und 'optimaler' Bewässerung sowie Signifikanz der Varianzkomponenten für die Jahre 2005, 2006 und 2007.

Jahr (J)	Wasser- regime (W)	Genotyp (G)	Feld- aufgang d	Männl. Blüte d	Weibl. Blüte d	Wuchs- höhe cm	Kolb.- höhe cm	Blätter/ Pflanze Anzahl	
2007	'Minimal'	Flavi	14,5	88	82	248	125	16,0	
		PR36K67	14,3	91	88	264	150	18,1	
		Mikado	17,0	97	102	271	143	19,6	
		Mittel	15,3	92	91	261	140	17,9	
	'Optimal'	Flavi	16,0	87	82	251	125	16,2	
		PR36K67	14,0	91	88	267	148	18,3	
		Mikado	14,0	96	99	283	142	19,9	
		Mittel	14,7	91	90	267	138	18,1	
	GD ( $P < 0,05$ ) <sup>†</sup>			-	-	1	-	-	-
	GD ( $P < 0,05$ ) <sup>‡</sup>			2,4	-	1	-	-	-
<u>Signifikanz der F-Werte aus der Varianzanalyse</u>									
W			NS	NS	**	NS	NS	NS	
G			NS	**	**	**	**	**	
G x W			*	NS	**	NS	NS	NS	
-----									
Mittel Jahre	'Minimal'	Flavi	13,4	89	88	197	103	15,6	
		PR36K67	13,6	96	96	210	117	18,4	
		Mikado	14,8	103	106	235	124	19,5	
		Mittel	13,9	96	96	214	115	17,8	
	'Optimal'	Flavi	14,0	86	85	246	120	16,1	
		PR36K67	13,6	93	92	266	145	18,7	
		Mikado	14,0	100	102	291	155	20,0	
		Mittel	13,9	93	93	268	140	18,3	
	GD ( $P < 0,05$ ) <sup>†</sup>			-	-	-	-	-	-
	GD ( $P < 0,05$ ) <sup>‡</sup>			-	-	-	-	-	-
<u>Signifikanz der F-Werte aus der Varianzanalyse</u>									
J			**	**	**	**	**	NS	
W			NS	NS	NS	NS	NS	NS	
W x J			*	**	**	**	**	NS	
G			NS	*	**	*	*	**	
G x J			*	**	**	**	**	*	
G x W			NS	NS	NS	NS	NS	NS	
G x W x J			**	NS	*	NS	**	NS	

<sup>†</sup> Grenzdifferenz für Mittelwertvergleiche zwischen Wasserregimen innerhalb eines Merkmals.

<sup>‡</sup> Grenzdifferenz für Mittelwertvergleiche von Genotyp x Wasserregime-Kombinationen innerhalb eines Merkmals.

\*, \*\* Signifikant für  $P < 0,05$  und  $P < 0,01$ ; NS = nicht signifikant für  $P < 0,05$ .



Tabelle 2.2. Mittelwerte für Trockenmassegehalt, Nährstoffgehalte (in der TM) und Erträge von drei Maissorten bei 'minimaler' und 'optimaler' Bewässerung sowie Signifikanz der Varianzkomponenten für die Jahre 2005, 2006 und 2007.

Jahr (J)	Wasser- regime (W)	Genotyp (G)	TM- Gehalt %	Roh- asche %	Roh- fett %	Roh- protein %	Roh- faser %	NfE %	Organ. TM %	Methan- ausbeute L (kg oTM) <sup>-1</sup>	FM- Ertrag t ha <sup>-1</sup>	TM- Ertrag t ha <sup>-1</sup>	Methan- ertrag m <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup>	
2005	'Minimal'	Flavi	36,7	4,49	2,74	7,32	21,5	64,0	95,5	307	52,9	19,3	5.643	
		PR36K67	29,9	4,63	2,76	7,57	17,9	67,2	95,4	301	62,3	18,6	5.344	
		Mikado	26,2	4,56	2,01	8,01	21,9	63,5	95,4	295	88,4	23,1	6.519	
		Mittel	30,9	4,56	2,50	7,64	20,4	64,9	95,4	301	67,9	20,4	5.835	
	'Optimal'	Flavi	30,0	4,52	2,66	7,53	20,8	64,5	95,5	307	78,1	23,4	6.843	
		PR36K67	29,7	4,55	2,65	6,72	19,2	66,9	95,5	300	77,4	22,9	6.560	
		Mikado	22,4	5,31	1,89	6,16	25,2	61,5	94,7	294	113,2	25,3	7.041	
		Mittel	27,3	4,79	2,40	6,80	21,7	64,3	95,2	300	89,6	23,9	6.325	
	GD ( $P < 0,05$ ) <sup>†</sup>			1,8	-	0,10	0,62	-	-	-	-	5,9	1,5	410
	GD ( $P < 0,05$ ) <sup>‡</sup>			3,4	0,37	-	0,71	1,9	-	0,4	-	-	2,3	-
<u>Signifikanz der F-Werte aus der Varianzanalyse 2005</u>														
		W	**	NS	*	*	NS	NS	NS	NS	**	**	**	
		G	**	**	**	NS	**	**	**	**	**	**	**	
		G x W	*	**	NS	**	*	NS	**	NS	NS	NS	NS	
2006	'Minimal'	Flavi	30,5	5,36	1,96	8,59	22,5	61,6	94,6	290	48,1	17,7	4.021	
		PR36K67	31,5	5,61	2,35	8,94	20,9	62,2	94,4	291	44,1	13,9	3.814	
		Mikado	27,4	5,50	1,95	7,39	20,9	64,3	94,5	292	61,8	16,9	4.660	
		Mittel	29,8	5,49	2,08	8,31	21,4	62,7	94,5	291	51,4	15,2	4.165	
	'Optimal'	Flavi	36,8	4,79	2,36	5,62	19,9	67,4	95,2	307	62,7	23,1	6.742	
		PR36K67	33,0	5,39	2,64	6,38	20,3	65,3	94,6	299	67,7	22,4	6.329	
		Mikado	28,6	5,79	2,31	5,52	24,1	62,3	94,2	296	81,1	23,1	6.448	
		Mittel	32,8	5,32	2,44	5,84	21,4	65,0	94,7	301	70,5	22,8	6.507	
	GD ( $P < 0,05$ ) <sup>†</sup>			1,7	0,10	0,13	0,91	-	1,6	0,1	2	5,6	1,5	428
	GD ( $P < 0,05$ ) <sup>‡</sup>			2,9	-	-	-	1,6	2,0	-	2	4,7	1,0	321
<u>Signifikanz der F-Werte aus der Varianzanalyse 2006</u>														
		W	*	*	**	**	NS	*	*	**	**	**	**	
		G	**	*	**	**	**	NS	*	**	**	**	**	
		G x W	*	NS	NS	NS	**	**	NS	**	*	**	**	

Tabelle 2.2. Mittelwerte für Trockenmassegehalt, Nährstoffgehalte (in der TM) und Erträge von drei Maissorten bei 'minimaler' und 'optimaler' Bewässerung sowie Signifikanz der Varianzkomponenten für die Jahre 2005, 2006 und 2007.

Jahr (J)	Wasser- regime (W)	Genotyp (G)	TM- Gehalt %	Roh- asche %	Roh- fett %	Roh- protein %	Roh- faser %	NfE %	Organ. TM %	Methan- ausbeute L (kg oTM) <sup>-1</sup>	FM- Ertrag t ha <sup>-1</sup>	TM- Ertrag t ha <sup>-1</sup>	Methan- ertrag m <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup>
2007	'Minimal'	Flavi	30,2	6,44	2,69	7,75	19,3	63,8	93,6	299	76,7	23,1	6.473
		PR36K67	26,9	6,73	2,08	7,53	21,7	62,0	93,3	291	81,9	22,0	5.985
		Mikado	25,2	6,04	1,88	7,40	23,3	61,4	94,0	291	92,8	23,4	6.391
		Mittel	27,4	6,04	2,22	7,56	21,4	62,4	93,6	294	83,8	22,8	6.283
	'Optimal'	Flavi	31,2	6,03	2,70	7,15	20,3	63,9	94,0	299	76,8	24,0	6.734
		PR36K67	28,6	6,48	2,33	7,16	21,3	62,7	93,5	297	85,5	24,5	6.790
		Mikado	24,2	6,74	2,09	7,45	24,4	59,3	93,3	295	99,9	24,1	6.645
		Mittel	28,0	6,42	2,37	7,25	22,0	62,0	93,6	297	87,4	24,2	6.723
	GD ( $P < 0,05$ ) <sup>†</sup>		-	-	0,09	-	-	-	-	1	2,4	1,0	316
	GD ( $P < 0,05$ ) <sup>‡</sup>		1,3	0,25	-	-	-	-	0,3	2	2,8	-	-
<u>Signifikanz der F-Werte aus der Varianzanalyse 2007</u>													
		W	NS	NS	*	NS	NS	NS	NS	**	*	*	*
		G	**	**	**	NS	**	**	**	**	**	NS	NS
		G x W	*	**	NS	NS	NS	NS	**	**	**	NS	NS
Mittel Jahre	'Minimal'	Flavi	32,5	5,43	2,46	7,89	21,1	63,1	94,6	299	76,7	19,0	5.379
		PR36K67	29,4	5,65	2,39	8,02	20,2	63,8	94,4	294	81,9	18,2	5.047
		Mikado	26,2	5,36	1,95	7,60	22,0	63,1	94,6	293	92,8	21,2	5.857
		Mittel	29,4	5,48	2,27	7,84	21,1	63,3	94,5	295	83,8	19,4	5.428
	'Optimal'	Flavi	32,7	5,12	2,58	6,76	20,3	65,3	94,9	304	76,8	23,5	6.773
		PR36K67	30,4	5,47	2,54	6,75	20,3	65,0	94,5	299	85,5	23,3	6.560
		Mikado	25,0	5,95	2,10	6,38	24,6	61,0	94,1	295	99,9	24,2	6.711
		Mittel	29,4	5,51	2,40	6,63	21,7	62,0	94,5	299	87,4	23,6	6.681
	GD ( $P < 0,05$ ) <sup>†</sup>		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	GD ( $P < 0,05$ ) <sup>‡</sup>		-	0,3	-	-	-	-	0,3	-	-	0,9	-

Tabelle 2.2. Mittelwerte für Trockenmassegehalt, Nährstoffgehalte (in der TM) und Erträge von drei Maissorten bei 'minimaler' und 'optimaler' Bewässerung sowie Signifikanz der Varianzkomponenten für die Jahre 2005, 2006 und 2007.

Jahr (J)	Wasser- regime (W)	Genotyp (G)	TM- Gehalt %	Roh- asche %	Roh- fett %	Roh- protein %	Roh- faser %	NfE %	Organ. TM %	Methan- ausbeute L (kg oTM) <sup>-1</sup>	FM- Ertrag t ha <sup>-1</sup>	TM- Ertrag t ha <sup>-1</sup>	Methan- ertrag m <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup>
<u>Signifikanz der F-Werte aus der zusammenfassenden Varianzanalyse über die Jahre</u>													
	J		**	**	**	NS	NS	**	**	**	**	**	**
	W		NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
	W x J		**	NS	**	**	NS	*	NS	**	**	**	**
	G		**	NS	NS	NS	NS	NS	NS	*	*	NS	NS
	G x J		*	*	**	**	**	**	*	**	**	**	*
	G x W		NS	**	NS	NS	NS	NS	**	NS	NS	*	NS
	G x W x J		**	NS	NS	**	NS	*	NS	**	**	NS	NS

† Grenzdifferenz für Mittelwertvergleiche zwischen Wasserregimen innerhalb eines Merkmals.

‡ Grenzdifferenz für Mittelwertvergleiche von Genotyp x Wasserregime-Kombinationen innerhalb eines Merkmals.

\*, \*\* Signifikant für  $P < 0,05$  und  $P < 0,01$ ; NS = nicht signifikant für  $P < 0,05$ ; NfE = Stickstofffreie Extraktstoffe.



Abbildung 2.5. Im Trockenjahr 2006 (oben) war im Gegensatz zum niederschlagsreichen Jahr 2007 (unten) visuell ein deutlicher Unterschied zwischen bewässerten und unbewässerten Parzellen zu erkennen.

Die drei Sorten unterschieden sich deutlich im **Trockenmassegehalt** (Tabelle 2.2). Der Trockenmassegehalt nahm mit zunehmender Reifezahl ab. Im Mittel der drei Versuchsjahre lag der Trockenmassegehalte der Sorte Mikado mit 25,0% bei 'optimaler' Bewässerung und 26,2% bei 'minimaler' Bewässerung unterhalb des für die Erzeugung einer qualitativ hochwertigen Silage kritischen

Wertes von 28%. Die Gehalte an Rohasche stiegen tendenziell mit zunehmender Reifezahl an. Die drei untersuchten Genotypen unterschieden sich in allen drei Versuchsjahren signifikant im Rohfettgehalt. Im Mittel der Jahre und Wasserregime lagen die Rohfettgehalte von Flavi, PR36K67 und Mikado bei 2,5, 2,5 und 2,0%. Der spätreife Energiemaissprototyp Mikado hatte den höchsten Rohfasergehalt. Die **theoretische Methanausbeute** der drei Sorten unterschied sich nur geringfügig. Gemittelt über Jahre und Wasserregime nahm die Methanausbeute mit zunehmender Reifezahl von 302 L (kg oTM)<sup>-1</sup> für Flavi über 297 L (kg oTM)<sup>-1</sup> für PR36K67 auf 294 L (kg oTM)<sup>-1</sup> für Mikado ab.

Die Ertragswirksamkeit der Zusatzbewässerung war in den drei Versuchsjahren sehr unterschiedlich (Tabelle 2.2). Durch intensive Bewässerung erhöhte sich der **Trockenmasseertrag** im Sortenmittel im Jahr 2006 um 7,7 t ha<sup>-1</sup> (51%), im Jahr 2005 um 3,5 t ha<sup>-1</sup> (17%) und im Jahr 2007 um 1,4 t ha<sup>-1</sup> (6%). Die Ertragsschwankungen in den drei Jahren waren mit 13,9 bis 23,4 t ha<sup>-1</sup> bei extensiver Bewässerung wesentlich größer als bei intensiver Bewässerung mit 22,4 bis 25,3 t ha<sup>-1</sup>.

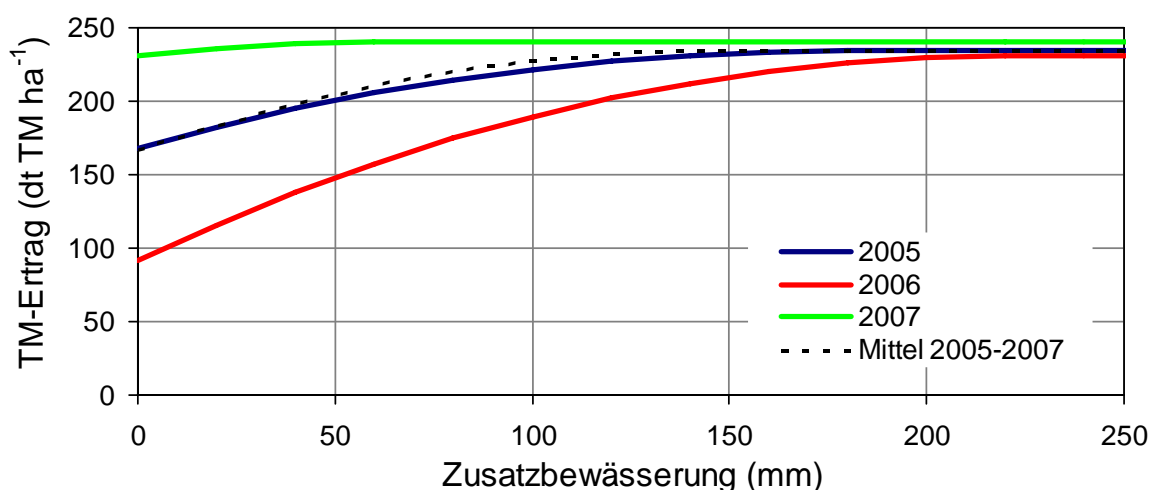


Abbildung 2.6. Abhängigkeit des Maisertrages von der Zusatzwassermenge für die Sorte Flavi (aus Toews und Schittenhelm, 2008).

In der Abbildung 2.6 sind die aus den Versuchsergebnissen abgeleiteten Ertragsfunktionen am Beispiel der Sorte Flavi für die drei Versuchsjahre sowie das 3-jährige Mittel dargestellt. Nach dem Gesetz des abnehmenden Ertragszuwachses sind zusätzliche Wassergaben umso weniger ertragswirksam, je besser die Pflanzen bereits mit Wasser versorgt sind. Die aus den Mittelwerten der Jahre abgeleitete Ertragsfunktion verläuft annähernd deckungsgleich mit derjenigen aus dem Jahr 2005. Erstaunlich ist, dass der maximal erreichbare Ertrag (23,5 t TM ha<sup>-1</sup>) sich in den einzelnen Jahren kaum unterscheidet. Unterschiede in den Wärmesummen haben sich also offenbar nicht auf das Ertrags-

potenzial ausgewirkt, so dass die Wasserversorgung der wesentliche ertragsbestimmende Wachstumsfaktor war.

Zu dem vorliegenden Bewässerungsversuch mit Energiemais wurde eine detaillierte **Wirtschaftlichkeitsanalyse** durchgeführt deren Ergebnisse in den Veröffentlichungen von Schittenhelm und Toews (2007) sowie Toews und Schittenhelm (2008) ausführlich beschrieben sind. Da die Bewässerung aus versuchs-technischen Gründen mit Tropfschläuchen erfolgte, wurden die Wassergaben für die betriebswirtschaftliche Auswertung mit einem Aufschlag von 20% versehen, um der geringeren Effizienz der in der landwirtschaftlichen Praxis üblichen Beregnungsmaschinen Rechnung zu tragen. Unter Zugrundelegung einer Beregnung mit praxisüblicher Technik zeigte sich, dass durch die zusätzlichen Wassergaben im Trockenjahr 2006 der Gewinn um 246 € ha<sup>-1</sup> (Mikado) bis 576 € ha<sup>-1</sup> (Flavi) zunahm. Einen positiven Gewinnbeitrag von 96 € ha<sup>-1</sup> gab es im Jahr 2005 für Flavi, nicht jedoch für Mikado. Wegen der hohen Niederschläge lohnte sich die Bewässerung im Jahr 2007 bei keiner der drei untersuchten Sorten.

Tabelle 2.3. Trockenmasseertrag und Wassernutzungseffizienz von drei Maissorten mit stark unterschiedlicher Reifezeit im Mittel der Jahre 2005 bis 2007.

Wasserregime <sup>†</sup>	Sorte	TM-Ertrag t ha <sup>-1</sup>	Blattflächendauer (m <sup>2</sup> · d) m <sup>-2</sup>	Kum. akt. Transp. mm	ETK L (kg TM) <sup>-1</sup>	WUE g TM L <sup>-1</sup>
'Minimal'	Flavi	19,0	421	213	227	4,4
	PR36K67	18,2	609	219	238	4,2
	Mikado	21,1	662	226	204	4,9
'Optimal'	Flavi	23,5	550	273	217	4,6
	PR36K67	23,3	612	296	222	4,5
	Mikado	24,2	856	306	208	4,8

<sup>†</sup> Extensiv / Intensiv: 31 / 145 (2005), 41 / 184 (2006), 0 / 50 (2007).

Neben der ökonomischen Auswertung wurden die Daten aus dem vorliegenden Versuch auch mit einem **Wasserhaushaltsmodell** der Universität Kiel verrechnet (Wienforth, Schittenhelm, Wulkau et al., 2008). Diese Analyse ergab, dass die längere Blattflächendauer von Sorten mit höheren Reifezahlen erwartungsgemäß mit höheren Werten für die kumulierte Transpiration einhergeht (Tabelle 2.3). Die im Mittel der beiden Wasserregime um 57% längere Blattflächendauer von Mikado gegenüber Flavi war mit einer um lediglich 9% höheren kumulierten Transpiration verbunden. Interessanterweise besaß die massereiche und spätreife Sorte Mikado sowohl bei 'minimaler' als auch 'optimaler' Bewässerung den niedrigsten Evapotranspirationskoeffizienten und die höchste Wassernutzungs-

effizienz. Die ursprüngliche Annahme wonach Sorten mit einer großen Transpirationsfläche unter Trockenheit eine besonders starke Ertragsdepression zeigen konnte durch diesen Versuch nicht bestätigt werden. Im Gegenteil, die massereiche und spätreife Sorte Mikado erbrachte im Trockenjahr 2006 unter beiden Wasserregimen den höchsten Trockenmasseertrag. Da diese Beobachtung auf nur einer Sorte und einem Ort beruht, wäre eine entsprechende Absicherung der Ergebnisse wünschenswert.

### 3 Versuch II. Einfluss der Wasserversorgung auf die Rohstoffqualität beim Misanbau (Dr. S. Schittenhelm, JKI)

Für die Produktion von Biogassubstraten kommt neben dem Anbau von Reinkulturen auch ein Misanbau in Betracht. Unter Misanbau versteht man den gleichzeitigen Anbau verschiedener Fruchtarten auf demselben Feld (Andrews und Kassam, 1976). Denkbar ist beispielsweise der Misanbau von Mais mit anderen Reinkulturen wie z.B. Sonnenblume, Futterhirse und Sudangras. Durch einen Misanbau ließe sich einer Monotonisierung des Landschaftsbildes durch zunehmenden Maisanbau in den Einzugsgebieten von Biogasanlagen entgegenwirken. Diese Entwicklung wird inzwischen nicht nur von Naturschützern als bedenklich angesehen. Mit seinem hohen Bedarf an Wasser, Nährstoffen und Wärme stößt der intensive Maisanbau inzwischen an Grenzen. Grass (2007) weist zu Recht darauf hin, dass es fatal wäre, wenn der positive Beitrag der regenerativen Biomasse zum Klimaschutz durch Umweltbelastungen bei der Erzeugung der Biomasse wieder zunichte gemacht würde.

Gegenüber dem Reinanbau kann der Misanbau **positive Wirkungen** haben. Beispiele sind eine erhöhte Ertragssicherheit wenn sich die Mischungspartner in ihrer Stresstoleranz und Krankheitsanfälligkeit deutlich unterscheiden oder durch Unterschiede im Bestandesaufbau und Wurzelsystem der Mischungspartner die Wachstumsfaktoren Licht und Wasser besser ausgenutzt werden können. Der Misanbau ist allerdings aufwändiger und birgt auch Risiken. Insbesondere seien hier genannt ein höherer technischer Aufwand bei Aussaat und Ernte, eine möglicherweise geringere Stickstoffeffizienz wegen unterschiedlicher Ansprüche der Mischungspartner an Zeitpunkt und Höhe der Stickstoffgabe sowie eine schwierigere Bekämpfung von Krankheiten, Schädlingen und Unkräutern aufgrund einer unterschiedlichen Empfindlichkeit der Mischungspartner gegenüber Pflanzenschutzmitteln.

Je nach Grad des Kontaktes zwischen den Mischungspartnern werden verschiedene **Formen des Misanbaus** unterschieden (Trenbath 1976, Vandermeer 1989, Aufhammer 1999, Hoffmann et al. 2005), die nachfolgend in der Reihenfolge abnehmenden Kontaktes zwischen den Mischungspartnern genannt sind: (1) Zufällige Verteilung der Einzelpflanzen verschiedener Partner im Bestand (mixed intercropping), (2) reihenweiser Wechsel zwischen den Mischungspartnern (row intercropping), (3) Wechsel zwischen Reihen und Streifen von Mischungspartnern (row strip intercropping), (4) Wechsel zwischen Streifen unterschiedlicher Breite von Mischungspartnern (strip intercropping) sowie (5) zeitlich begrenzter Kontakt zwischen den Mischungspartnern durch Einsaat bzw. Einpflanzung eines Mischungspartners in den Bestand des ande-



ren Mischungspartners (relay intercropping). Der in dem vorliegenden Versuch praktizierte Anbau von Doppelreihen entspricht einem **streifenweisen Mischanbau** wobei jeder der beiden Mischungspartner sowohl dieselbe als auch eine andere Fruchtart als Nachbar hat. In breiteren Streifen als den Doppelreihen macht der Mischanbau wenig Sinn, weil mögliche Synergieeffekte immer kleiner werden.

Neben dem Aspekt einer erhöhten **Biodiversität** hat der Mischanbau auch den Vorteil, dass sich die Mischungspartner in ihren Inhaltsstoffen ergänzen können. Es gibt Hinweise wonach die Methanausbeute durch den Einsatz fetthaltiger Substanzen gesteigert wird (Groß, 2006). Es bietet sich daher an, den Mais, welcher über einen nur geringen Fettgehalt verfügt, mit Sonnenblume zu mischen. Nach Angaben von Groß (2006) erbringt ein gelungener Mischanbau aus hälftig Sonnenblume und Mais etwa 80% des Trockenmasseertrages von reinem Silomais. Dabei entfallen 40% der Gesamttrockenmasse auf die Sonnenblume und 60% auf den Mais. Der Rohfettgehalt in der Trockenmasse erhöht sich im Vergleich zum Maisreinanbau von knapp 4 auf 12%.

Beim gleichzeitigen Anbau von zwei oder mehr Kulturen treten zwangsläufig Konkurrenzeffekte auf. Es stellt sich daher die Frage, wie sich die interspezifische Konkurrenz bei regional unterschiedlichem Wasserangebot auf die Zusammensetzung des Erntegutes und mithin auf die Rohstoffqualität auswirkt. Eine gleich bleibend hohe **Rohstoffqualität** ist notwendig für einen störungsfreien Betrieb und mithin für die Wirtschaftlichkeit von Biogasanlagen. Im Gegensatz zu relativ statischen Stressoren (z.B. Bodenversalzung und Bodenversauerung) ist der **Trockenstress** in den meisten Umwelten von den Zufälligkeiten der Witterung abhängig. Die Wirkung von Trockenstress wird durch Zeitpunkt, Dauer und Intensität beeinflusst. Mais beispielsweise reagiert eine Woche vor bis zwei Wochen nach der Blüte besonders empfindlich auf Trockenstress (Grant et al. 1989). Da die Trockenheitstoleranz nur im Feld zuverlässig ermittelt werden kann, es unter Freilandbedingungen aber jedes Jahr zu einer anderen Kombination der o.g. drei Trockenstressfaktoren kommt, ist die Interpretation von solchen Versuchen schwierig bis unmöglich. Um Fragen der Wasserversorgung beim Mischanbau bei definierten Bodenwassergehalten und ansonsten weitestgehend natürlichen Bedingungen untersuchen zu können, wurde auf dem Versuchsfeld des Instituts ein 9,2 m breiter und 2 × 50 m langer **Folientunnel** errichtet (Abbildung 3.1). Der Folientunnel hat eine Seitenwandhöhe von 2 m, eine Gesamthöhe von 4 m und ist an jeder Bogeneinheit mit Drehankern im Boden befestigt.

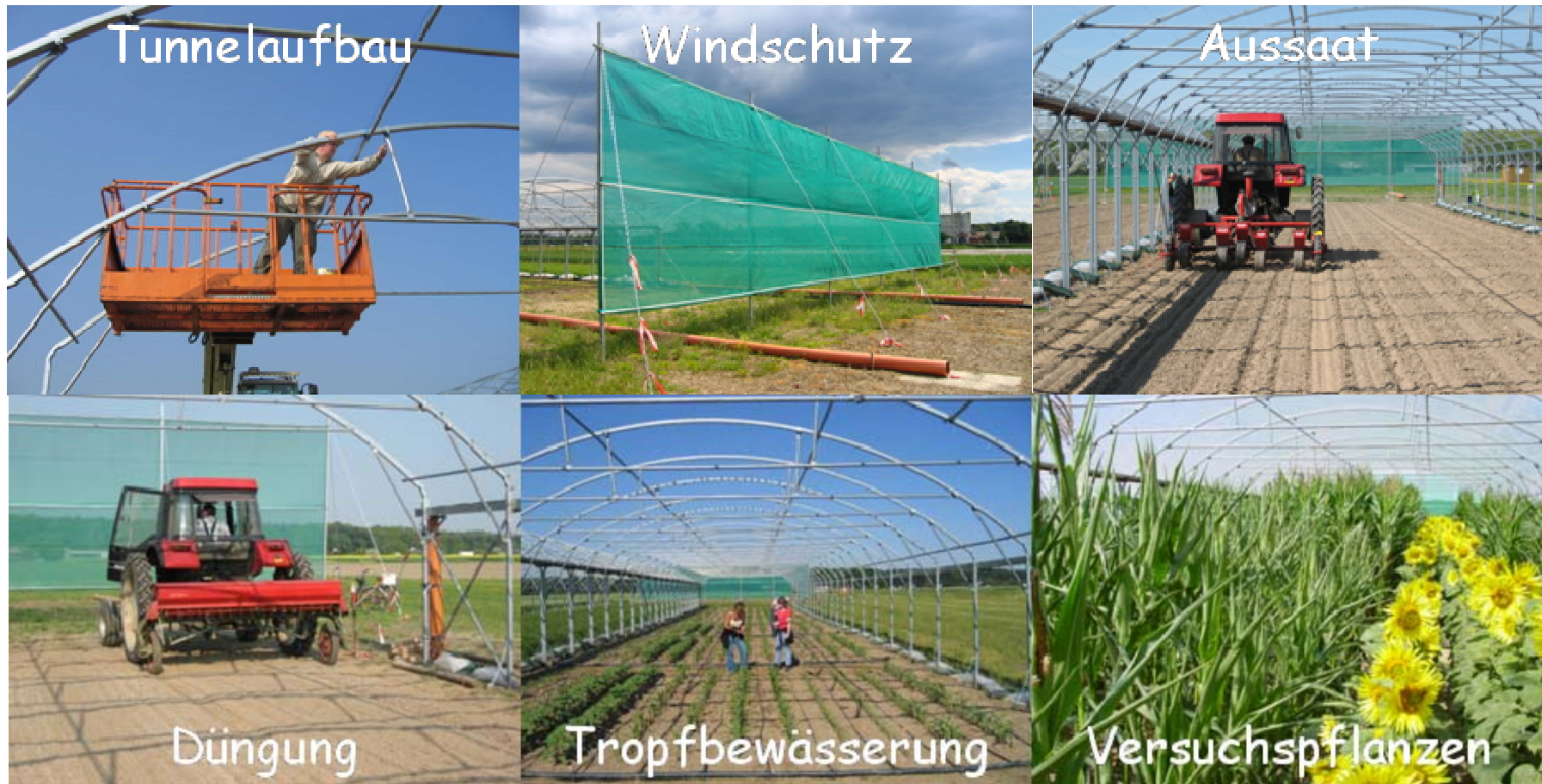


Abbildung 3.1. Dokumentation von Aufbau und Betrieb des Folientunnels als einer stationären Versuchseinrichtung für witterungsunabhängige Bewässerungsversuche im Freiland.

Die Dimensionierung des Folientunnels wurde so großzügig gewählt um sämtliche pflanzenbaulichen Arbeiten mit den üblichen landwirtschaftlichen Maschinen und Geräten durchführen zu können. Der Wert des Folientunnels als Versuchseinrichtung für Trockenstressversuche wurde besonders im Jahr 2007 deutlich. Trotz der in diesem Jahr überdurchschnittlich hohen Niederschläge ließen sich die gewünschten Bodenfeuchten während der gesamten Dauer des Versuchs problemlos einhalten.

Der Versuch wurde in den Jahren 2006 und 2007 als zweifaktorielle Spaltanlage mit zwei Wiederholungen durchgeführt. Der Faktor Bodenfeuchte bestand aus drei Stufen: Kein Trockenstress (60-80% nFK), leichter Trockenstress (40-50% nFK) und starker Trockenstress (15-30% nFK). Geprüft wurden die beiden Mischungen **Mais/Sonnenblume** und **Mais/Futterhirse**. Die Aussaat der Mischungen erfolgte in Doppelreihen mit einem Reihenabstand von 62,5 cm. Agronomische Details zu diesem Versuch sind in den Tabellen A7.4 und A7.5 zusammengestellt. Zur Bewässerungssteuerung wurde in einer der beiden Wiederholungen mittig zwischen den beiden Mischungspartnern in 15 und 45 cm Bodentiefe je eine ML2x-Sonde installiert.

Die Bodenfeuchte in den Großteilstücken wurde mittels **Tropfbewässerung** auf die im vorigen Abschnitt genannten Zielkorridore gebracht. Um diese Sollwerte einzuhalten, bekamen die Parzellen mit starkem, leichtem und keinem Trockenstress 14, 19 und 24 Wassergaben mit insgesamt 138, 242 bzw. 332 mm im Jahr 2006 sowie 5, 14 und 15 Wassergaben mit insgesamt 40, 185, bzw. 300 mm im Jahr 2007. Der Verlauf der nutzbaren Feldkapazität ist in Abbildung 3.2 exemplarisch für das Versuchsjahr 2007 dargestellt. Die **Dachfolie** wurde nach Etablierung der Bestände (13.6.2006 bzw. 31.5.2007) aufgezogen. In beiden Versuchsjahren lag die Bodenfeuchte zu diesem Zeitpunkt noch über 80% nFK. Da nach dem Anbringen der Dachfolie kein Regen mehr auf die Versuchsfläche gelangte, nahm der Bodenwassergehalt rasch ab.

Die Bestände entwickelten sich aufgrund der differenzierten Wasserversorgung sehr unterschiedlich. Auf Trockenstress reagierten die drei Fruchtarten durch Absterben der älteren, bodennahen Blätter (Abbildung 3.3). In der Variante mit starkem Trockenstress (15-30% nFK) war die Längenentwicklung bei den einzelnen Pflanzenarten stark reduziert (Tabelle A7.6 und A7.7). Im Mittel der beiden Jahre erreichte die Mais/Sonnenblume und die Mais/Futterhirse Mischung bei starkem Trockenstress lediglich 64 bzw. 58% der **Wuchshöhe** der entsprechenden Mischung ohne Trockenstress (Tabelle 3.1).

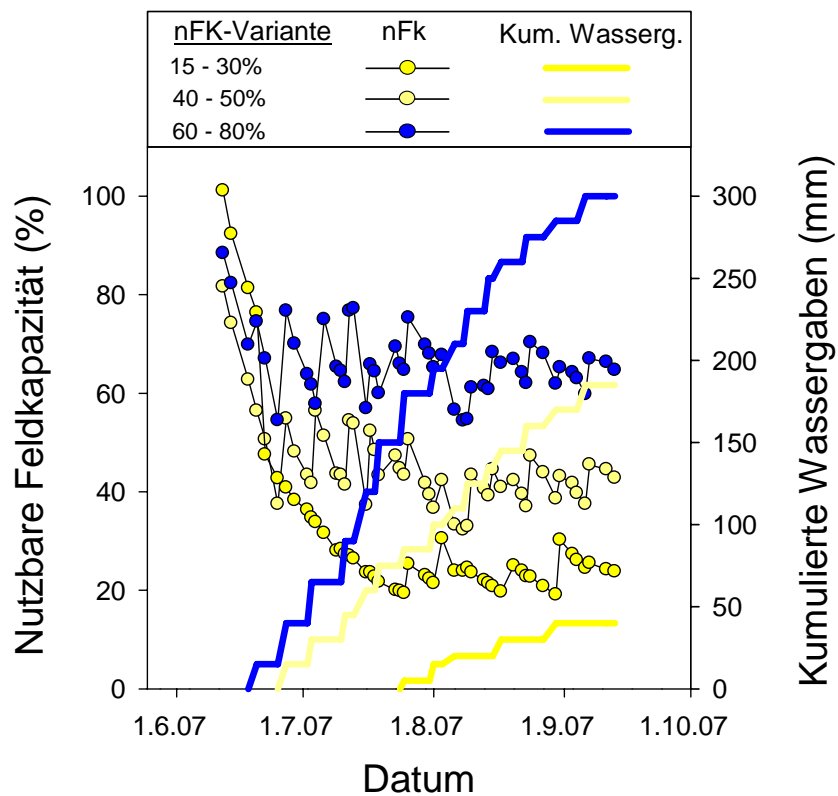


Abbildung 3.2. Verlauf der Bodenfeuchte in 0-60 cm Bodentiefe sowie der kumulierten Wassergaben im Jahr 2007.



Abbildung 3.3. Blick in die Variante 15-30% nFK unter dem Folientunnel am 14.8.2007 mit Mais, Sonnenblume und Futterhirse (von links).

Die unterschiedliche Wasserversorgung hatte leichte Verschiebungen in den **Nährstoffgehalten** im Erntegut der Mischungen zur Folge (Tabelle 3.1). Bei der Mais/Sonnenblume Mischung zeigte die Variante mit stärkstem Trockenstress die höchsten Gehalte an Rohfett und Rohprotein aber die niedrigsten Gehalte an Rohfaser und N-freien Extraktstoffen. Bei der Mais/Futterhirse Mischung führte eine bessere Wasserversorgung zu einem Anstieg der Rohfasergehalte in der Trockenmasse. Diese Verschiebungen in den Nährstoffgehalten der Mischungspartner bewirkte allerdings nur geringfügige Veränderungen der **theoretischen Methanausbeuten**. Mit abnehmender Wasserverfügbarkeit nahm die Methanausbeute bei den Mais/Sonnenblumen Mischungen tendenziell zu, bei den Mais/Futterhirse Mischungen dagegen eher ab. Die Verbesserung der Substratqualität der Mais/ Sonnenblumen Mischungen unter Sommertrockenheit ging mit einem höheren Ertragsanteil der Sonnenblumen einher. Verglichen mit den großen Unterschieden zwischen den beiden Mischungstypen war der Einfluss der Wasserversorgung auf die Substratqualität allerdings äußerst gering. Die Futterhirse hatte mit durchschnittlich  $243 \text{ L CH}_4 \text{ (kg oTM)}^{-1}$  ein deutlich geringeres Methanbildungsvermögen als Sonnenblume und Mais mit  $297$  bzw.  $302 \text{ L CH}_4 \text{ (kg oTM)}^{-1}$  (Tabelle A7.6 und A7.7).

Erwartungsgemäß erhöhten sich die Frisch- und Trockenmasseerträge in den beiden Mischungen mit zunehmender Bodenfeuchte. Der mit  $10,8 \text{ t ha}^{-1}$  niedrigste Trockenmasseertrag wurde von der Mais/Sonnenblume Mischung unter starkem Trockenstress und der mit  $18,1 \text{ t ha}^{-1}$  höchste Trockenmasseertrag von der Mais/Futterhirse Mischung ohne Trockenstress erzielt. Trotz der stark unterschiedlichen Bodenfeuchten wiesen Sonnenblume und Futterhirse relativ konstante **Ertragsanteile** auf. Eine durch veränderte interspezifische Konkurrenz von Jahr zu Jahr stark schwankende Substratqualität infolge unterschiedlicher Wasserverfügbarkeit ist demzufolge nicht zu erwarten. Lediglich in der Mais/Sonnenblume Mischung hatte die Sonnenblume in der Variante 15-30% nFK einen mit 46% im Mittel der Jahre 2006 und 2007 ungewöhnlich hohen Anteil am Trockenmasseertrag (Abbildung 3.4). Der höhere Sonnenblumenanteil im Erntegut hatte geringfügig höhere theoretische Methanausbeuten zur Folge. Diese Ertragsverschiebung bei der Mais/Sonnenblume Mischung erklärt sich dadurch, dass die Sonnenblume aufgrund ihrer rascheren Entwicklung im Frühjahr die Winterbodenfeuchte besser nutzen kann als der Mais. Bis es für den Mais mit seinem höheren Wärmebedürfnis warm genug ist, hat die Sonnenblume die Winterbodenfeuchte bereits weitgehend aufgebraucht. Die klimatischen Bedingungen im vorliegenden Versuch entsprechen einem Szenario mit feuchten Wintern und trocken-warmen Sommern wie es infolge des **Klimawandels** für die Zukunft erwartet wird.

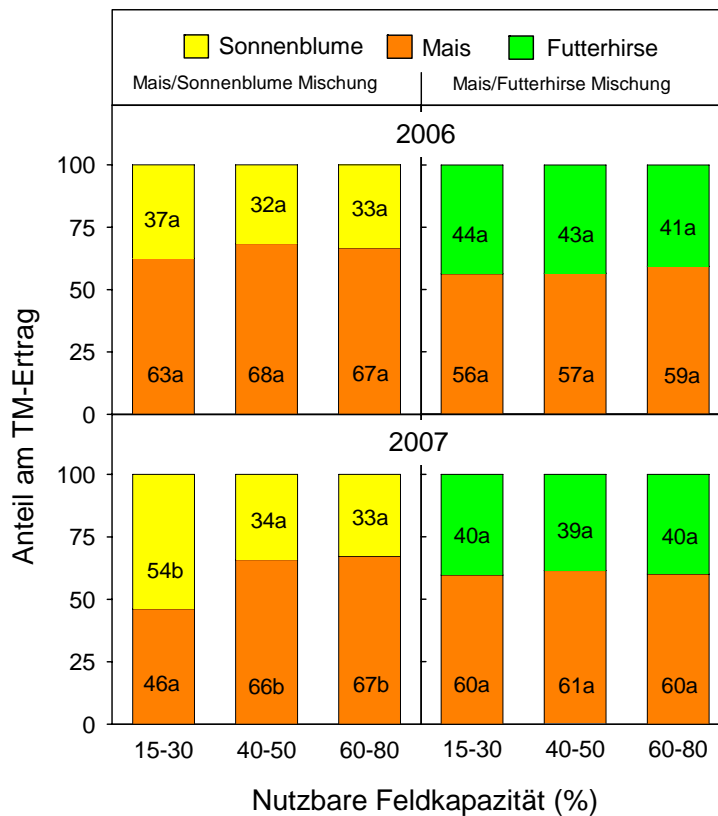


Abbildung 3.4. Relative Anteile der Mischungs-partner am Trockenmasseertrag beim Mais/Sonnenblume und Mais/Futterhirse Mischanbau im Folientunnel für drei Wasserregime in Braunschweig in den Jahren 2006 und 2007.

Die als Mischungspartner eingesetzten Pflanzenarten sind hinsichtlich ihrer Transpirationskoeffizienten wie folgt einzustufen: Futterhirse < Mais < Sonnenblume (Geisler, 1988). Anzumerken ist, dass die Sonnenblume trotz ihres vergleichsweise hohen Transpirationskoeffizienten über ein gutes Wasseraneignungsvermögen verfügt. **Evapotranspiration** und **Evapotranspirationskoeffizient** der Mischungen stiegen mit zunehmender Wasserverfügbarkeit an, während die **Wassernutzungseffizienz** entsprechend abnahm (Tabelle 3.2). Der Evapotranspirationskoeffizient der Mais/Futterhirse Mischung lag im Vergleich zu demjenigen der Mais/Sonnenblume Mischung für die Wasserregime 15-30, 40-50 und 60-80% nFK im Mittel der beiden Versuchsjahre bei 88, 79 bzw. 87%. Die eingangs erwähnten Unterschiede zwischen den Transpirationskoeffizienten der einzelnen Pflanzenarten spiegeln sich also in den Mischungen wider.

Tabelle 3.1. Mittelwerte für Wuchshöhe, Nährstoffgehalte (in der TM) und Erträge der Mais/Sonnenblume und Mais/Futterhirse Mischungen bei drei Wasserregimen in den Jahren 2006 und 2007.

Jahr (J)	Wasser- regime (W)	Mischung <sup>§</sup> (M)	Wuchs- höhe cm	TM- Gehalt %	Roh- asche %	Roh- fett %	Roh- protein %	Roh- faser %	NfE %	Methan- ausbeute L (kg oTM) <sup>-1</sup>	FM- Ertrag t ha <sup>-1</sup>	TM- Ertrag t ha <sup>-1</sup>	Methan- ertrag m <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup>
2006	15–30% nFK	Mais/Sonnenblume	116	33,9	7,5	7,8	9,3	21,4	54,0	307	29,0	9,8	2.792
		Mais/Futterhirse	136	28,3	5,0	2,5	8,0	21,6	62,9	279	40,6	11,5	3.041
		Ø Mischungen	126	31,1	6,2	5,1	8,7	21,5	58,4	293	34,8	10,7	2.916
	40–50% nFK	Mais/Sonnenblume	177	34,3	7,9	5,6	7,9	22,2	56,4	304	46,0	12,3	3.449
		Mais/Futterhirse	206	27,8	5,0	2,6	6,8	22,2	63,4	281	55,9	15,5	4.139
		Ø Mischungen	192	31,1	6,5	4,1	7,3	22,2	59,9	292	45,9	13,9	3.794
	60–80% nFK	Mais/Sonnenblume	212	34,6	7,9	5,2	7,6	25,5	53,7	300	41,8	14,5	3.997
		Mais/Futterhirse	239	26,8	5,1	2,6	7,0	24,1	61,2	282	65,5	17,5	4.697
		Ø Mischungen	225	30,7	6,5	3,9	7,3	24,8	57,5	291	53,6	16,0	4.347
GD 5% <sup>†</sup>			-	-	-	1,4	-	-	4	-	-	-	
GD 5% <sup>‡</sup>			26	-	-	-	0,5	2,2	0,7	1	2,9	1,7	437
Signifikanz der <i>F</i> -Werte aus der Varianzanalyse 2006													
		W	**	NS	NS	NS	**	*	**	*	**	**	**
		M	**	**	**	**	*	NS	**	**	**	*	*
		M x W	NS	NS	NS	*	NS	NS	NS	*	NS	NS	NS
2007	15–30% nFK	Mais/Sonnenblume	195	35,4	8,8	11,1	9,1	23,5	47,5	302	33,5	11,9	3.258
		Mais/Futterhirse	165	30,9	5,5	2,0	7,4	22,3	62,9	272	38,2	11,8	3.029
		Ø Mischungen	180	33,2	7,1	6,6	8,3	22,9	55,2	287	35,9	11,8	3.143
	40–50% nFK	Mais/Sonnenblume	254	31,5	8,5	5,5	7,8	24,0	54,2	295	46,9	14,6	3.941
		Mais/Futterhirse	270	28,7	5,5	1,6	6,9	22,7	63,3	274	64,2	18,4	4.755
		Ø Mischungen	262	30,1	7,0	3,6	7,4	23,4	58,8	284	55,6	16,5	4.348
	60–80% nFK	Mais/Sonnenblume	273	31,6	8,5	6,1	7,7	23,7	53,9	296	55,8	17,7	4.800
		Mais/Futterhirse	280	27,5	5,5	1,6	7,6	21,1	64,2	277	67,8	18,6	4.852
		Ø Mischungen	276	29,6	7,0	3,9	7,6	22,4	59,0	286	61,8	18,1	4.826
GD 5% <sup>†</sup>			-	-	-	1,9	0,6	-	-	-	-	-	
GD 5% <sup>‡</sup>			17	2,2	-	1,0	0,3	-	1,0	-	14,6	-	-

Tabelle 3.1. Mittelwerte für Wuchshöhe, Nährstoffgehalte (in der TM) und Erträge der Mais/Sonnenblume und Mais/Futterhirse Mischungen bei drei Wasserregimen in den Jahren 2006 und 2007.

Jahr (J)	Wasserregime (W)	Mischung <sup>§</sup> (M)	Wuchshöhe (cm)	TM-Gehalt (%)	Rohasche (%)	Rohfett (%)	Rohprotein (%)	Rohfaser (%)	NfE (%)	Methan- ausbeute L (kg oTM) <sup>-1</sup>	FM- Ertrag t ha <sup>-1</sup>	TM- Ertrag t ha <sup>-1</sup>	Methan- ertrag m <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup>
<u>Signifikanz der F-Werte aus der Varianzanalyse 2007</u>													
		W	**	*	NS	**	**	NS	*	NS	*	NS	NS
		M	NS	NS	**	**	**	NS	**	**	*	NS	NS
		M x W	NS	NS	NS	*	*	NS	NS	NS	NS	NS	NS
Mittel Jahre	15–30% nFK	Mais/Sonnenblume	155	34,7	8,2	9,5	9,2	22,5	50,8	304	31,3	10,8	3.025
		Mais/Futterhirse	150	29,6	5,2	2,2	7,7	22,0	62,9	275	39,4	11,6	3.035
		Ø Mischungen	153	32,1	6,7	5,9	8,5	22,2	56,8	290	35,3	11,2	3.030
	40–50% nFK	Mais/Sonnenblume	216	32,9	8,2	5,5	7,9	23,1	55,3	299	41,5	13,5	3.695
		Mais/Futterhirse	238	28,2	5,2	2,1	6,9	22,5	63,3	277	60,0	16,9	4.447
		Ø Mischungen	227	30,6	6,7	3,8	7,4	22,8	59,3	288	50,7	15,2	4.071
	60–80% nFK	Mais/Sonnenblume	243	33,1	8,2	5,7	7,7	24,6	53,8	298	48,8	16,1	4.398
		Mais/Futterhirse	259	27,1	5,3	2,1	7,3	22,6	62,7	279	66,6	18,1	4.774
		Ø Mischungen	251	30,1	6,8	3,9	7,5	23,6	58,3	289	57,7	17,1	4.586
GD 5% <sup>†</sup>			42	-	-	-	-	0,3	-	-	-	-	-
GD 5% <sup>‡</sup>			35	-	-	-	-	-	-	4	13,9	2,2	521
<u>Signifikanz der F-Werte aus der zusammenfassenden Varianzanalyse über die Jahre</u>													
		J	*	NS	NS	NS	NS	NS	NS	*	*	*	*
		W	*	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	*	*	*
		W x J	NS	*	NS	*	**	**	**	NS	NS	NS	NS
		M	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	**	NS	NS	NS
		M x J	NS	NS	NS	**	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
		M x W	*	NS	NS	NS	NS	**	NS	NS	NS	NS	NS
		M x W x J	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS

<sup>†</sup> Grenzdifferenz für Mittelwertvergleiche von Mischung x Wasserregime-Kombinationen innerhalb eines Merkmals.

<sup>‡</sup> Grenzdifferenz für Mittelwertvergleiche der Wasserregime innerhalb eines Merkmals.

\*, \*\* Signifikant für  $P < 0,05$  und  $P < 0,01$ ; NS = nicht signifikant für  $P < 0,05$ ; NfE = Stickstofffreie Extraktstoffe.

<sup>§</sup> Gewichtung der Partner bei Mittelwertbildung der Mischung: TM-Gehalt über FM-Ertrag, Nährstoffgeh. über TM-Ertrag, Methanausbeute über oTM-Ertrag.



Tabelle 3.2. Mittelwerte für Evapotranspiration (ET), Evapotranspirationskoeffizient (ETK) und Wassernutzungseffizienz (WUE) der Mais/Sonnenblume und Mais/Futterhirse Mischung bei drei Wasserregimen in den Jahren 2006 und 2007.

Jahr (J)	Wasser- regime (W)	Mischung (M)	ET mm	ETK L (kg TM) <sup>-1</sup>	WUE g TM L <sup>-1</sup>	
2006	15–30% nFK	Mais/Sonnenblume	220	224	4,5	
		Mais/Futterhirse	208	182	5,5	
		Ø Mischungen	214	203	5,0	
	40–50% nFK	Mais/Sonnenblume	310	252	4,0	
		Mais/Futterhirse	302	195	5,1	
		Ø Mischungen	306	223	4,6	
	60–80% nFK	Mais/Sonnenblume	394	273	3,7	
		Mais/Futterhirse	390	223	4,5	
		Ø Mischungen	392	248	4,1	
	GD 5% <sup>†</sup>			-	-	-
	GD 5% <sup>‡</sup>			21	16	0,2
	<u>Signifikanz der F-Werte aus der Varianzanalyse 2006</u>					
		W	**	*	**	
		M	*	**	*	
		M x W	NS	NS	NS	
2007	15–30% nFK	Mais/Sonnenblume	157	133	7,5	
		Mais/Futterhirse	155	131	7,6	
		Ø Mischungen	156	132	7,6	
	40–50% nFK	Mais/Sonnenblume	280	192	5,2	
		Mais/Futterhirse	286	156	6,4	
		Ø Mischungen	283	174	5,8	
	60–80% nFK	Mais/Sonnenblume	378	216	4,7	
		Mais/Futterhirse	379	204	4,9	
		Ø Mischungen	378	210	4,8	
	GD 5% <sup>†</sup>			-	-	-
	GD 5% <sup>‡</sup>			10	-	1,4
	<u>Signifikanz der F-Werte aus der Varianzanalyse 2007</u>					
		W	**	NS	*	
		M	NS	NS	*	
		M x W	NS	NS	NS	
Mittel Jahre	15–30% nFK	Mais/Sonnenblume	189	179	6,0	
		Mais/Futterhirse	181	157	6,6	
		Ø Mischungen	185	168	6,3	
	40–50% nFK	Mais/Sonnenblume	295	222	4,6	
		Mais/Futterhirse	294	175	5,8	
		Ø Mischungen	294	199	5,2	
	60–80% nFK	Mais/Sonnenblume	386	244	4,2	
		Mais/Futterhirse	385	213	4,7	
		Ø Mischungen	385	229	4,4	
	GD 5% <sup>†</sup>			-	-	-
	GD 5% <sup>‡</sup>			8	20	0,5

Tabelle 3.2. Mittelwerte für Evapotranspiration (ET), Evapotranspirationskoeffizient (ETK) und Wassernutzungseffizienz (WUE) der Mais/Sonnenblume und Mais/Futterhirse Mischung bei drei Wasserregimen in den Jahren 2006 und 2007.

Jahr (J)	Wasser- regime (W)	Mischung (M)	ET mm	ETK L (kg TM) <sup>-1</sup>	WUE g TM L <sup>-1</sup>
<u>Signifikanz der F-Werte aus der über die Jahre zusammenfassenden Varianzanalyse</u>					
		J	**	**	**
		W	**	**	**
		W x J	**	NS	*
		M	NS	**	**
		M x J	NS	*	NS
		M x W	NS	NS	NS
		M x W x J	NS	NS	NS

† Grenzdifferenz für Mittelwertvergleiche von Mischung x Wasserregime-Kombinationen innerhalb eines Merkmals.

‡ Grenzdifferenz für Mittelwertvergleiche der Wasserregime innerhalb eines Merkmals.

\*, \*\*, NS Signifikant für  $P < 0,05$  und  $P < 0,01$ , NS = nicht signifikant für  $P < 0,05$ .

## 4 Versuch III. Möglichkeiten der Zusatzbewässerung zur Nutzung von zwei Kulturen pro Jahr

### 4.1 Erläuterungen zum Versuch (Dr. S. Schittenhelm, JKI)

Das **Zweikulturnutzungssystem** ist darauf ausgerichtet, durch eine ganzjährige Bodenbedeckung eine hohe Flächenleistung zu erzielen (Karpenstein-Machan, 2005). Die Erstkultur wird im Herbst ausgesät und im darauffolgenden Jahr noch vor Erreichen der Vollreife geerntet. Wegen der erhöhten Transpiration durch die permanente Bedeckung des Bodens mit wachsenden Pflanzen stellt sich die Frage nach der Eignung dieses Anbausystems für sommertrockene Standorte wie sie in Deutschland insbesondere in den östlichen und nordöstlichen Ackerbaugebieten zu finden sind. Besonders problematisch ist die Wasserversorgung während der Keimung und Jugendentwicklung der Zweitkultur im Mai und Juni, weil zwischen Ernte der Erstfrucht und Aussaat der Zweitfrucht nur ein kleines Zeitfenster für die Wiederauffüllung des Bodenwasservorrates existiert. Bei den in Tabelle 4.1 exemplarisch dargestellten und über das gesamte Bundesgebiet verteilten Standorten beträgt die nFK im langjährigen Mittel 91% für den Hauptfruchtanbau aber nur 69% für das Zweikulturnutzungssystem. Legt man für die leichten und schweren Böden einen nutzbaren Wasserspeicher von 80 bzw. 180 mm zugrunde, dann entspricht die mittlere nFK-Differenz von 22 Prozentpunkten einer Wassermenge von 18 mm auf den leichten und 40 mm auf den schweren Böden.

Tabelle 4.1. Nutzbare Feldkapazität (%) in der 3. Aprildekade bei Hauptfruchtanbau ohne Winterzwischenfrucht und in der 3. Maidekade bei Zweikulturnutzung mit Erstkultur Grünschnittroggen für zehn ausgewählte Standorte in den Jahren 1962 bis 2006. Die Daten wurden freundlicherweise durch F.-J. Löpmeier (2007) von der Agrarmeteorologischen Forschungsstelle des Deutschen Wetterdienstes in Braunschweig zur Verfügung gestellt.

Standort	Boden	Hauptfruchtanbau (HF)	Zweikulturnutzung (ZK)	Differenz HF-ZK
Berlin	Leicht	83	52	31
Gardelegen (SA)	Leicht	84	54	30
Schleswig (SH)	Schwer	103	85	18
Lingen (NS)	Leicht	89	66	23
Braunschweig (NS)	Leicht	88	60	28
Borken (NW)	Schwer	99	77	22
Karlsruhe (BW)	Leicht	86	63	23
Konstanz (BW)	Schwer	103	88	15
Weißenburg (BY)	Leicht	87	67	20
Mühdorf (BY)	Leicht	90	76	14
<b>Mittel</b>		<b>91</b>	<b>69</b>	<b>22</b>

Um die Möglichkeiten der Zusatzbewässerung bei dem Zweikulturnutzungssystem zu prüfen wurden am JKI in Braunschweig, am ZALF in Müncheberg und am LTZ in Forchheim verschiedene Kombinationen aus Erst- und Zweitkulturen mit und ohne Zusatzbewässerung angebaut. An allen drei Standorten wurde einheitlich ein Kernversuch mit zwei Erstfrüchten (Winterroggen und Welsches Weidelgras) und drei Zweitfrüchten (Mais, Sonnenblume und Futterhirse) durchgeführt (Tabelle 4.2).

Tabelle 4.2. Übersicht zu den im Versuch zur Zweikulturnutzung an den drei Standorten eingesetzten Erst- und Zweitfrüchten. Die Kernversuche sind blau umrandet. M = Mais, FH = Futterhirse, SB = Sonnenblume.

Erstfrucht Saat Herbst	Welsches Weidelgras			Winter- roggen			Gelbsenf Zw.frucht			W-Roggen totgespritzt			W- Raps
	M	FH	SB	M	FH	SB	M	FH	SB	M	FH	SB	M
Zweitfrucht Saat Frühjahr													
<b>JKI</b>	X	X	X	X	X	X	X	X	X				
<b>LTZ</b>	X	X	X	X	X	X							X
<b>ZALF</b>	X	X	X	X	X	X				X	X	X	

Darüber hinaus wurden zusätzlich noch standorttypische Varianten untersucht. Am JKI wurde neben Winterroggen und Welschem Weidelgras auch noch der Gelbsenf zur Winterbegrünung angebaut. Diese Variante entspricht im Prinzip einer Hauptfruchtnutzung, da Gelbsenf über Winter abfriert und den Zweitfrüchten somit die gesamte Winterfeuchte zur Verfügung steht. Analog dazu wurde am ZALF eine Variante mit im zeitigen Frühjahr totgespritztem Winterroggen eingesetzt. Ebenso wie der Gelbsenf fungierte auch der Winterroggen lediglich als Bodendecker und N-Binder. Die ausgeprägte Sommertrockenheit am ZALF erschwert die Etablierung von abfrierenden Zwischenfrüchten, die zudem oft wegen früher Fröste vor Winter keine befriedigenden Bestände mehr bilden. Der anstelle der Zwischenfrucht Gelbsenf angebaute Winterroggen wurde zu Vegetationsbeginn totgespritzt. Zu diesem Zeitpunkt hatte er noch nicht in nennenswertem Umfang Wasser verbraucht. Durch die Einbeziehung dieser Varianten konnte an den Standorten Braunschweig und Müncheberg das Zweikulturnutzungssystem direkt mit einem Hauptfruchtanbau verglichen werden.

Die Versuchsanlage für die Zweitfrüchte (Kernversuch) erfolgt an allen drei Standorten entsprechend einer dreifaktoriellen Spaltanlage mit vier Wiederholungen. Die Versuchsfaktoren waren Wasserregime (Großteilstücke), Erstfrüchte (Mittelteilstücke) und Zweitfrüchte (Kleinteilstücke). Da die Erstfrüchte nicht bewässert wurden erfolgte die Auswertung entsprechend einer Blockanlage mit acht Wiederholungen.

Die Erstfruchtparzellen hatten eine Größe von 8 x 18 m. Die Ernte von Winterroggen erfolgt zum bzw. kurz nach dem Ährenschieben und die von Welschem Weidelgras als die Ähre im unteren Drittel der oberen Blattscheide gerade fühlbar war. Bei den Erstfruchtparzellen wurden mit dem HALDRUP Grünfuttervollernter drei Spuren (je eine Spur pro nachfolgende Zweitfruchtparzelle) auf 8 m Länge geerntet. Die Zweitfruchtparzellen bestanden bei Mais aus 8 Reihen und bei Sonnenblume und Futterhirse aus je 10 Reihen mit einer Länge von 8 m. Von allen Zweitfrüchten wurden bei der Endernte je drei 7 m lange Reihen geerntet wobei ein Streifen von 0,5 m an den Stirnseiten als Rand fungierte.

Die Anbaudaten für Erst- und Zweitfrüchte der Versuchsdurchgänge 2005/2006 und 2006/2007 finden sich im Anhang in den Tabellen A7.8 bis A7.11 für den Standort Braunschweig (JKI), A7.12 bis A7.15 für den Standort Forchheim (LTZ) und A7.16 bis A7.19 für den Standort Müncheberg (ZALF). Wegen der stark unterschiedlichen standörtlichen Gegebenheiten werden die Versuchsergebnisse nachfolgend zunächst für Braunschweig, Forchheim und Müncheberg getrennt nach Erst- und Zweitfrüchten dargestellt (Gliederungspunkte 4.1 bis 4.3). Unter Punkt 4.4 erfolgt dann eine zusammenfassende Bewertung.

## 4.2 Versuchsstandort Braunschweig (Dr. S. Schittenhelm, JKI)

Der **Anbau** der Erstfrüchte Welsches Weidelgras und Winterroggen lieferte in beiden Versuchsdurchgängen gute Bestände. Nach der Aussaat im Jahr 2005 entwickelte sich das Welsche Weidelgras so üppig, dass am 12.10.2005 zur Vermeidung von Auswinterungsschäden und zur Förderung der Narbendichte ein Schröpschnitt erforderlich war. Die Zweitfrucht Futterhirse bildete im Gegensatz zu Mais und Sonnenblume in beiden Versuchsjahren einen recht lückigen Bestand. Um den Versuchsfehler möglichst gering zu halten wurden die Fehlstellen durch manuelles Verpflanzen mit Ersatzpflanzen geschlossen. Im Jahr 2007 mussten auch bei der Sonnenblume durch Wildschaden (u.a. Vogelfrass) entstandene Fehlstellen mit Ersatzpflanzen aufgefüllt werden. Danach wurden zur Verhinderung weiterer Schäden sämtliche Sonnenblumenparzellen mit Vogelschutznetzen überspannt. Am 25.7.2007 ging die Futterhirse während eines Sturms ins Lager (Abbildung 4.1). Betroffen waren besonders die Parzellen des Hauptfruchtanbaus obgleich diese lediglich drei Tage früher ausgesät worden waren als die Zweitfruchtparzellen. Bis Mitte August hatten sich die zunächst stark lagernden Pflanzen wieder weitgehend aufgerichtet.



Abbildung 4.1. Lagernde Hauptfruchtfutterhirse in Braunschweig 2007.

In den Erstkulturen wurde keine **Zusatzbewässerung** durchgeführt. Wegen der ausgeprägten Sommertrockenheit im Jahr 2006 erhielt die Bewässerungsvari-

ante 'Minimal' bei den Zweitkulturen zur Vermeidung von Trockenschäden insgesamt 21 mm Zusatzwasser. Im Jahr 2007 war eine solche Notfallbewässerung nicht erforderlich. In der Vegetationsperiode 2006 betrug die Bewässerungsmenge bei 'optimaler' Bewässerung je nach Kultur 149 mm (Sonnenblumen) und 169 mm (Mais, Futterhirse). In der Vegetationsperiode 2007 erfolgte nur in der Bewässerungsvariante 'Optimal' eine Zusatzbewässerung mit 58 mm.



Abbildung 4.2. Beregnung zur Kultursicherung der 'minimal' mit Wasser versorgten Parzellen am 18.7.2006 in Braunschweig.

Nachfolgend werden zunächst die **Ergebnisse** für die Erstfrüchte und danach für die Zweitfrüchte dargestellt. Die Varianzanalyse lieferte für sämtliche Ertragsparameter und die meisten der untersuchten Qualitätsparameter signifikante Effekte für Jahr, Erstfrucht und die Interaktion Erstfrucht x Jahr (Tabelle 4.3). Trotz eines vergleichbaren Erntetermins waren die Trockenmassegehalte von Grünschnittroggen und Welschem Weidelgras bei der Ernte mit durchschnittlich 24,2% im Jahr 2007 (Tabelle A7.21) deutlich höher als mit 16,6% im Jahr 2006 (Tabelle A7.20). Die für die Silierung erforderlichen TM-Gehalte von 28% wurden von keiner der beiden Erstfrüchte erreicht. Ebenso wie die TM-Gehalte waren auch die TM-Erträge von Grünschnittroggen und Welschem Weidelgras im Jahr 2007 höher als im Jahr 2006 (6,1 versus 4,9 t ha<sup>-1</sup>).

Tabelle 4.3. Mittelwerte der Erstfrüchte für Wuchshöhe, Nährstoffgehalte (i.d. TM), TM-Gehalt, Methanausbeute, Erträge und N-Entzug im Mittel der Jahre 2006 und 2007 am Standort Braunschweig.

Erstfrucht (E)	Wuchshöhe cm	Rohasche %	Rohfett %	Rohprotein %	Rohfaser %	NfE %	TM-Gehalt %	CH <sub>4</sub> -Ausbeute L (kg oTM) <sup>-1</sup>	FM-Ertrag t ha <sup>-1</sup>	TM-Ertrag t ha <sup>-1</sup>	CH <sub>4</sub> -Ertrag m <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup>	N-Entzug kg ha <sup>-1</sup>
Grünschnittroggen	73	7,2	2,5	10,6	33,4	46,4	20,2	327	31,0	6,3	1.895	103
Welsches Weidelgras	47	9,0	2,5	10,5	24,6	53,4	20,5	353	23,7	4,7	1.512	79
GD ( $P < 0,05$ ) <sup>†</sup>	2	0,4	-	-	0,7	1,0	-	1	1,1	0,2	59	7
<u>Signifikanz der F-Werte aus der Varianzanalyse</u>												
J	**	**	NS	**	NS	**	**	**	**	**	**	**
E	**	**	NS	NS	**	**	NS	**	**	**	**	**
E x J	**	**	NS	**	NS	NS	*	**	**	**	**	NS

<sup>†</sup> Grenzdifferenz für Mittelwertvergleiche zwischen Erstfrüchten innerhalb eines Merkmals.

\*, \*\* Signifikant für  $P < 0,05$  und  $P < 0,01$ ; NS = nicht signifikant für  $P < 0,05$ .

NfE = Stickstofffreie Extraktstoffe.



Der Grund für die unterschiedlichen TM-Erträge in den beiden Jahren liegt vermutlich in den unterschiedlichen Frühjahrstemperaturen (Tabelle 1.2). So betrug im Jahr 2007 die mittlere Lufttemperatur im März 7,4 °C und im April 11,8 °C. Im Jahr 2006 waren es dagegen nur 2,0 bzw. 8,7 °C. Obgleich der Winterroggen im Jahr 2005 um 43 Tage und im Jahr 2006 um 27 Tage später ausgesät wurde als das Welsche Weidelgras hatte er bei der Ernte einen um 16 bzw. 49% höheren TM-Ertrag. Im Vergleich zu Grünschnittroggen ist das Welsche Weidelgras gekennzeichnet durch höhere Gehalte an Rohasche und NfE, niedrigere Rohfasergehalte sowie ein höheres Methanbildungsvermögen. Die Methanausbeute von Welschem Weidelgras lag im Mittel der beiden Versuchsjahre um 8% über der von Grünschnittroggen. Aufgrund des höheren Biomasseertrages errechnete sich für den Grünschnittroggen trotz der niedrigeren Methanausbeute ein im Vergleich zum Welschen Weidelgras um 383 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> höherer Methanertrag. Grünschnittroggen und Welsches Weidelgras hatten in beiden Versuchsjahren nahezu identische N-Entzüge. Im Mittel der beiden Jahre entzog der Grünschnittroggen 24 kg ha<sup>-1</sup> mehr Stickstoff als das Welsche Weidelgras.

Die in Tabelle 4.4 dargestellten Ergebnisse der zusammenfassenden Varianzanalyse der **Zweitfrüchte** zeigt für die meisten untersuchten Merkmale (darunter Frischmasse-, Trockenmasse- und Methanertrag) signifikante Unterschiede zwischen Jahren, Wasserregimen, Erstfrüchten und Zweitfrüchten (Ergebnisse der Einzeljahre s. Tabelle A7.22 und A7.23). Im Vergleich zu Mais und Futterhirse war die Sonnenblume gekennzeichnet durch höhere Gehalte an Rohasche, Rohfett, Rohprotein und Rohfaser aber niedrigere NfE-Gehalte. Die Futterhirse unterschied sich vom Mais insbesondere durch die höheren Rohfasergehalte bei gleichzeitig niedrigeren Werten für Rohfett, Rohprotein und NfE. Diese Unterschiede erklären auch die im Vergleich zu Mais deutlich reduzierte Methanausbeute bei der Futterhirse.

Der signifikante Erstfruchteffekt für den TM-Ertrag ist auf die abweichende Vorfruchtwirkung von Grünschnittroggen und Welschem Weidelgras gegenüber Gelbsef zurückzuführen. Im Gegensatz zu Sonnenblume und Futterhirse als Zweitfrüchte war der Zweitfruchtanbau von Mais dem Hauptfruchtanbau deutlich unterlegen. Bezogen auf den Hauptfruchtanbau lagen die über die Erstfrüchte Grünschnittroggen und Welsches Weidelgras gemittelten relativen TM-Erträge für Sonnenblume und Futterhirse bei 99%, für Mais dagegen lediglich bei 92%.

Grünschnittroggen und Welsches Weidelgras unterschieden sich kaum im Hinblick auf den Frisch- und Trockenmasseertrag sowie den Methanertrag der Zweitfrüchte. Dieser Befund ist nicht überraschend da die beiden Erstfrüchte keinen allzu unterschiedlichen Trockenmasseertrag aufweisen und mithin den Bodenwasservorrat ähnlich stark beanspruchten.

Tabelle 4.4. Einfluss von Wasserregime, Erstfrucht und Zweitfrucht auf Wuchshöhe, Nährstoffgehalte (i.d. TM), TM-Gehalt, Methanausbeute, Erträge und N-Entzug im Mittel der Jahre 2006 und 2007 am Standort Braunschweig.

Wasser- regime (W)	Erstfrucht (E)	Zweitfrucht (Z)	Wuchs- höhe cm	Roh- asche %	Roh- fett %	Roh- protein %	Roh- faser %	NfE %	TM- Gehalt %	CH <sub>4</sub> - Ausbeute L (kg oTM) <sup>-1</sup>	FM- Ertrag t ha <sup>-1</sup>	TM- Ertrag t ha <sup>-1</sup>	CH <sub>4</sub> - Ertrag m <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup>	N- Entzug kg ha <sup>-1</sup>
'Minimal'	Grünschnitt- roggen	Mais	208	5,3	2,6	7,3	18,7	66,1	32,2	304	59,5	18,3	5.235	214
		Sonnenblume	168	11,3	17,0	8,3	26,0	37,3	27,4	308	38,9	10,2	2.784	133
		Futterhirse	200	4,6	1,3	7,2	24,2	62,8	26,1	241	56,9	14,8	3.404	169
		Mittel	192	7,1	7,0	7,6	23,0	55,4	28,6	284	51,7	14,4	3.808	172
	Welsches Weidelgras	Mais	208	5,3	2,5	7,1	18,0	67,2	32,3	304	58,4	18,0	5.161	207
		Sonnenblume	162	11,2	16,1	8,5	27,0	37,3	27,3	305	38,6	10,1	2.719	136
		Futterhirse	204	4,5	1,3	7,0	24,5	62,7	26,0	241	56,0	14,5	3.346	164
		Mittel	191	7,0	6,6	7,5	23,1	55,7	28,5	283	51,0	14,2	3.742	169
	Keine (Gelbsenf)	Mais	216	5,0	2,7	7,2	19,3	65,9	34,4	304	59,6	20,0	5.736	230
		Sonnenblume	172	11,2	15,8	9,0	27,0	37,1	30,8	304	33,1	10,1	2.722	144
		Futterhirse	188	4,9	1,3	7,6	26,0	60,2	25,8	242	57,3	14,6	3.350	177
		Mittel	192	7,0	6,6	7,9	24,1	54,4	30,3	283	50,0	14,9	3.936	184
	Mittel	192	7,0	6,7	7,7	23,4	55,2	29,1	284	50,9	14,5	3.829	175	
'Optimal'	Grünschnitt- roggen	Mais	255	5,2	2,5	6,5	20,2	65,7	32,5	303	70,8	22,1	6.342	230
		Sonnenblume	181	11,9	15,0	7,6	28,3	37,3	27,3	301	40,7	10,8	2.854	131
		Futterhirse	236	4,9	1,1	6,3	24,7	63,0	25,4	241	67,9	17,2	3.939	173
		Mittel	224	7,3	6,2	6,8	24,4	55,3	28,4	282	59,8	16,7	4.379	178
	Welsches Weidelgras	Mais	254	5,3	2,5	6,6	19,8	65,9	32,3	303	70,8	22,1	6.340	234
		Sonnenblume	179	11,9	15,2	7,7	28,4	36,8	26,3	302	41,0	10,5	2.798	130
		Futterhirse	234	4,9	1,3	6,5	24,6	62,7	25,1	241	70,7	17,8	4.071	185
		Mittel	222	7,4	6,3	6,9	24,3	55,1	27,9	282	60,9	16,8	4.403	183
	Keine (Gelbsenf)	Mais	253	5,0	2,7	7,1	19,7	65,5	34,5	304	69,5	23,6	6.780	268
		Sonnenblume	184	11,6	16,3	8,6	28,2	35,3	31,7	304	35,1	10,9	2.930	150
		Futterhirse	222	5,0	1,2	6,6	25,7	61,6	24,9	241	72,4	18,0	4.127	191
		Mittel	220	7,2	6,7	7,4	24,5	54,1	30,4	283	59,0	17,5	4.612	203
	Mittel	222	7,3	6,4	7,1	24,4	54,9	28,9	282	59,9	17,0	4.465	188	
	GD ( $P < 0,05$ ) <sup>†</sup>		8	0,2	-	0,2	0,4	-	-	1	1,6	0,8	198	9
	GD ( $P < 0,05$ ) <sup>‡</sup>		3	-	0,4	0,2	0,2	-	0,4	1	0,8	0,2	54	5

Tabelle 4.4. Einfluss von Wasserregime, Erstfrucht und Zweitfrucht auf Wuchshöhe, Nährstoffgehalte (i.d. TM), TM-Gehalt, Methanausbeute, Erträge und N-Entzug im Mittel der Jahre 2006 und 2007 am Standort Braunschweig.

Wasser- regime (W)	Erstfrucht (E)	Zweitfrucht (Z)	Wuchs- höhe cm	Roh- asche %	Roh- fett %	Roh- protein %	Roh- faser %	NfE %	TM- Gehalt %	CH <sub>4</sub> - Ausbeute L (kg oTM) <sup>-1</sup>	FM- Ertrag t ha <sup>-1</sup>	TM- Ertrag t ha <sup>-1</sup>	CH <sub>4</sub> - Ertrag m <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup>	N- Entzug kg ha <sup>-1</sup>
<u>Signifikanz der F-Werte aus der Varianzanalyse</u>														
	J		**	**	**	NS	**	**	**	**	**	**	**	**
	W		**	*	NS	**	**	NS	NS	**	**	**	**	*
	W x J		**	*	NS	**	**	NS	NS	**	**	**	**	NS
	E		NS	NS	NS	**	**	**	**	NS	*	**	**	**
	E x W		*	NS	*	*	**	NS	*	*	**	*	*	**
	E x J		NS	NS	NS	**	NS	*	**	NS	**	NS	NS	**
	E x W x J		NS	NS	NS	NS	NS	*	NS	NS	NS	NS	NS	*
	Z		**	NS	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**
	Z x W		**	*	NS	NS	**	NS	NS	*	**	**	**	**
	Z x E		*	NS	NS	NS	NS	NS	**	NS	**	NS	*	NS
	Z x E x W		NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	**
	Z x J		**	**	*	**	**	**	**	**	**	**	**	NS
	Z x W x J		**	**	NS	NS	NS	NS	*	NS	**	**	**	NS
	Z x E x J		NS	NS	NS	NS	**	NS	*	NS	**	*	*	NS
	Z x E x W x J		NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS

† Grenzdifferenz für Mittelwertvergleiche zwischen Wasserregimen innerhalb eines Merkmals.

‡ Grenzdifferenz für Mittelwertvergleiche von Wasserregime x Erstfrucht-Kombinationen innerhalb eines Merkmals.

\*, \*\* Signifikant für  $P < 0,05$  und  $P < 0,01$ ; NS = nicht signifikant für  $P < 0,05$ .

NfE = Stickstofffreie Extraktstoffe.

Anders verhält es sich bei Hauptfruchtanbau mit der abfrierenden Winterzwischenfrucht Gelbsef, welche die Winterniederschläge kaum beansprucht. Den mit  $23,6 \text{ t ha}^{-1}$  höchsten TM-Ertrag erbrachte Mais in Hauptfruchtstellung bei 'optimaler' Bewässerung. Der ebenfalls 'optimal' bewässerte Mais in Zweitfruchtstellung erbrachte dagegen im Mittel über die beiden Erstfrüchte lediglich  $17,5 \text{ t TM ha}^{-1}$ . Bei der Futterhirse waren zwischen Hauptfrucht- und Zweitfruchtanbau keine Ertragsunterschiede zu verzeichnen. Bei 'optimaler' Bewässerung erzielte sie im Hauptfruchtanbau  $18,0 \text{ t TM ha}^{-1}$  und im Zweitfruchtanbau  $17,5 \text{ t TM ha}^{-1}$ . Bei 'minimaler' Bewässerung waren es  $14,6 \text{ t TM ha}^{-1}$  in Hauptfruchtstellung und  $14,7 \text{ t TM ha}^{-1}$  in Zweitfruchtstellung. Da die Futterhirse wegen ihrer ausgeprägten Kälteempfindlichkeit erst relativ spät ausgesät werden kann, reduziert sich ein möglicher Ertragsvorteil beim Anbau als Hauptfrucht ohne Winterzwischenfrucht auf eine möglicherweise höhere Bodenfeuchte in der Zeit der Keimung und Jugendentwicklung. Diesen Vorteil konnte die Hauptfruchtfutterhirse im Jahr 2007 nutzen. Trotz der nur drei Tage früheren Aussaat beim Anbau in Hauptfruchtstellung hatten sich die Bestände zunächst deutlich besser entwickelt. Diese üppigere Entwicklung wurde ihr allerdings bei einem Sturm am 25.7.2007 zum Verhängnis. Im Gegensatz zu der vergleichsweise schwächer entwickelten Zweitfruchtfutterhirse ging die Hauptfruchtfutterhirse stark ins Lager (s. Abbildung 4.1). Die Pflanzen konnten sich zwar wieder aufrichten, aber der ursprüngliche Entwicklungsvorsprung war verloren.

Der Mehrertrag durch Zusatzbewässerung fiel bei den Zweitfrüchten recht unterschiedlich aus. Während der TM-Ertrag durch 'optimale' versus 'minimale' Bewässerung im Mittel der beiden Jahre bei Mais um  $3,8 \text{ t ha}^{-1}$  (20%) und bei Futterhirse um  $3,0 \text{ t ha}^{-1}$  (21%) gesteigert werden konnte, waren es bei der Sonnenblume lediglich  $0,6 \text{ t ha}^{-1}$  (6%). Die entsprechenden Zahlen für den Methanertrag sind  $1.110 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$  (21%) bei Mais,  $679 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$  (20%) bei Futterhirse und  $119 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$  (4%) bei Sonnenblume.

Die Rangfolge der Zweitfrüchte für den TM-Ertrag spiegelt sich in den N-Entzügen wider. Die über Wasserregime und Erstfrüchte gemittelten höchsten N-Entzüge hatte der Mais ( $231 \text{ kg ha}^{-1}$ ) gefolgt von Futterhirse ( $177 \text{ kg ha}^{-1}$ ) und Sonnenblume ( $137 \text{ kg ha}^{-1}$ ). Während Mais und Futterhirse bei 'optimaler' Bewässerung 27 bzw.  $13 \text{ kg N ha}^{-1}$  mehr entzogen als bei 'minimaler' Bewässerung, hatte die Wasserversorgung bei der Sonnenblume keinen Einfluss auf den N-Entzug ( $-1 \text{ kg N ha}^{-1}$ ).

### 4.3 Versuchsstandort Forchheim (Dr. S. Kruse, LTZ)

Während die Aussaat der Erstfrüchte im Jahr 2005 in staubtrockenem Boden erfolgte und ein gleichmäßiges Auflaufen durch eine zusätzliche Wassergabe sichergestellt werden musste, ermöglichten die Witterungsbedingungen 2006 die Etablierung eines gleichmäßigen Bestandes ohne Zusatzbewässerung. Im Jahr 2006 mussten jedoch zur Aussaat der Zweitfrüchte 20 mm beregnet werden, um eine entsprechende Bodenbearbeitung nach der Ernte der Erstfrucht durchführen zu können. Im zweiten Versuchsjahr ermöglichten die Niederschläge im Mai eine optimale Etablierung der Bestände, obwohl die Erstfrüchte aufgrund des niederschlaglosen Monats April schnell abreifen und teilweise erheblich unter Wassermangel litten. Trotz der in der Summe geringen Niederschläge im Sommer 2007 war es nicht nötig die 'minimal' mit Wasser versorgten Varianten mit Zusatzwasser zu versorgen, da die Regenereignisse günstiger verteilt waren als die Niederschläge im Sommer 2006. Im ersten Versuchsjahr wurden die 'optimal' mit Wasser versorgten Varianten mit bis zu 200 mm beregnet, die Variante 'Minimal' erhielt noch 90 mm. Im Jahr 2007 reichten dagegen 150 mm Zusatzwasser für eine 'optimale' Wasserversorgung aus.

Im Folgenden wird ausschließlich auf Besonderheiten der Versuchsdurchführung in den einzelnen Versuchsjahren eingegangen. Detaillierte Darstellungen der **Anbaudaten** in den einzelnen Versuchsjahren können für die Erstfrüchte den Tabellen A7.12 und A7.13 und für die Zweitfrüchte den Tabellen A7.14 und A7.15 im Anhang entnommen werden. Aufgrund der schwachen Ertragsleistung der Winterrapssorte Viking im Erntejahr 2006, wurde zur Aussaat 2006 eine Sortenanpassung vorgenommen und die frühe Sorte Taurus eingesetzt. Alle anderen Sorten wurden in allen Versuchsjahren geprüft.

Die **Erstfrüchte** wurden wegen der Gefahr der Nährstoffauswaschung auf dem leichten Sandboden in Forchheim im Herbst nicht gedüngt. Zu Vegetationsbeginn wurden in beiden Versuchsjahren die Parzellen mit Winterroggen und Welschem Weidelgras mit  $60 \text{ kg N ha}^{-1}$  in Form von Kalkammonsalpeter gedüngt. Die Rapsparzellen erhielten eine N-Düngung von  $100 \text{ kg ha}^{-1}$ . Die Grunddüngung erfolgte für die betrachteten Kulturen einheitlich mit Thomaskali (6/16/6). Der Pflanzenschutz beschränkte sich auf eine Herbizidbehandlung im Herbst, die bei den Gräsern mit  $1 \text{ L ha}^{-1}$  Bacara und bei Raps mit  $2 \text{ L ha}^{-1}$  Butisan durchgeführt wurde.

Die Aussaat der **Zweitfrüchte** Mais und Sonnenblume erfolgte wegen des Anbaus der Erstfrüchte in beiden Versuchsjahren ca. drei Wochen später als ortsüblich. Wegen der Kälteempfindlichkeit der Futterhirse gehen die Anbau-

empfehlungen zum optimalen Saattermin von Mitte bis Ende Mai aus. Insofern kann der Aussattermin der Futterhirse insgesamt als ortsüblich angesehen werden. Die Sonnenblumen mussten wegen Vogelfraß (der trotz Vliesabdeckung nicht vollständig verhindert werden konnte) ebenso wie die Futterhirse in beiden Versuchsjahren punktuell nachgesät werden. Zum Schutz gegen Vogelfraß wurden die Sonnenblumen zudem kurz nach der Blüte mit Vogelschutznetzen abgedeckt. Die Düngung der Zweitfrüchte wurde einheitlich mit dem stabilisierten Stickstoffdünger Alzon durchgeführt. Die N-Düngung variierte abhängig von der Kulturart zwischen  $110 \text{ kg N ha}^{-1}$  bei Sonnenblumen und  $235 \text{ kg N ha}^{-1}$  bei Silomais. Mit Hilfe mechanischer bzw. chemischer Pflanzenschutzmaßnahmen konnte in beiden Versuchsjahren die Etablierung sowohl der Erst- als auch der Zweitkulturen sichergestellt werden. Die Beregnung erfolgte zu allen Terminen in beiden Versuchsjahren mit dem Beregnungswagen, und wurde mittels 'Agrowetter' (Leitkultur Körnermais) gesteuert. Vor allem im Jahr 2007 war die 'optimale' Beregnungssteuerung wegen unsicherer Wetterprognosen erschwert; vorhergesagte Starkregenereignisse brachten oftmals nicht die angegebenen Regenmengen.

Die Ernte der Erstfrucht Winterroggen erfolgte in beiden Jahren zum Ährenschieben. Das Welsche Weidelgras wies im Jahr 2007 einen heterogenen Bestand auf, der teilweise durch die Dürreperiode im April notreif wurde, so dass die Entwicklung von Weidelgras zwischen BBCH 35 und 51 zur Ernte variierte, während das Weidelgras im Jahr 2006 zum Ährenschieben geerntet wurde. Die Ernte von Winterraps fand zur bzw. in der Blüte statt. Aufgrund der Trockenheit im Frühjahr 2007 lagen die Ernten der Erstfrucht in diesem Jahr allesamt um etwa drei Wochen früher als im vorangegangenen Versuchsjahr.

Im Folgenden werden die **Ergebnisse** der **Erstfrüchte** Welsches Weidelgras, Winterroggen und Winterraps dargestellt. Dabei werden zunächst die Trockenmasseerträge und TM-Gehalte im Mittel der Jahre dargestellt bevor im Anschluss näher auf die Qualitätsparameter eingegangen wird. Bei gemeinsamer Betrachtung der drei Vorfrüchte weist die statistische Auswertung der Erträge und Qualitätsparameter für die Versuchsfaktoren Jahr und Erstfrucht bzw. für deren Interaktion signifikante Unterschiede aus (Tabelle 4.5). Im Mittel der Jahre erreichten die Erstfrüchte Grünschnittroggen, Welsches Weidelgras und Winterraps einen TM-Ertrag von  $5,2$ ,  $4,0$  bzw.  $4,4 \text{ t TM ha}^{-1}$ , der jedoch erheblichen jahresbedingten Schwankungen unterworfen ist. Während der Grünschnittroggen und das Welsche Weidelgras im Jahr 2007 im Vergleich zum Vorjahr einen Minderertrag von  $2,3$  bzw.  $2,8 \text{ t TM ha}^{-1}$  aufwiesen, konnte der Winterraps einen um  $3,2 \text{ t TM ha}^{-1}$  höheren TM-Ertrag erzielen (Tabelle A7.24 und A7.25).

Tabelle 4.5. Mittelwerte der Erstfrüchte Grünschnittroggen, Welsches Weidelgras und Winterraps für Wuchshöhe, Nährstoffgehalte (i.d. TM), TM-Gehalt, Methanausbeute, Erträge und N-Entzug im Mittel der Jahre 2006 und 2007 am Standort Forchheim.

Erstfrucht (E)	Wuchshöhe cm	Rohasche %	Rohfett %	Rohprotein %	Rohfaser %	NfE %	TM-Gehalt %	CH <sub>4</sub> -Ausbeute L (kg oTM) <sup>-1</sup>	FM-Ertrag t ha <sup>-1</sup>	TM-Ertrag t ha <sup>-1</sup>	CH <sub>4</sub> -Ertrag m <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup>	N-Entzug kg ha <sup>-1</sup>
Grünschnittroggen	69	6,8	3,0	11,8	28,7	49,7	20,7	329	23,4	5,2	1.573	94
Welsches Weidelgras	51	8,9	2,7	10,6	23,0	55,1	28,5	335	17,3	4,0	1.208	64
Winterraps	122	11,3	2,6	16,0	31,3	38,8	17,8	352	26,1	4,4	1.362	116
GD ( $P < 0,05$ ) <sup>†</sup>	4	0,7	0,3	0,5	0,8	1,2	0,9	0,4	2,9	0,5	151	12
<u>Signifikanz der F-Werte aus der Varianzanalyse</u>												
J	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	*	*
E	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**
E x J	**	**	NS	*	**	**	**	**	**	**	**	**

<sup>†</sup> Grenzdifferenz für Mittelwertvergleiche zwischen Erstfrüchten innerhalb eines Merkmals.

\*, \*\* Signifikant für  $P < 0,05$  und  $P < 0,01$ ; NS = nicht signifikant für  $P < 0,05$ .

NfE = Stickstofffreie Extraktstoffe.

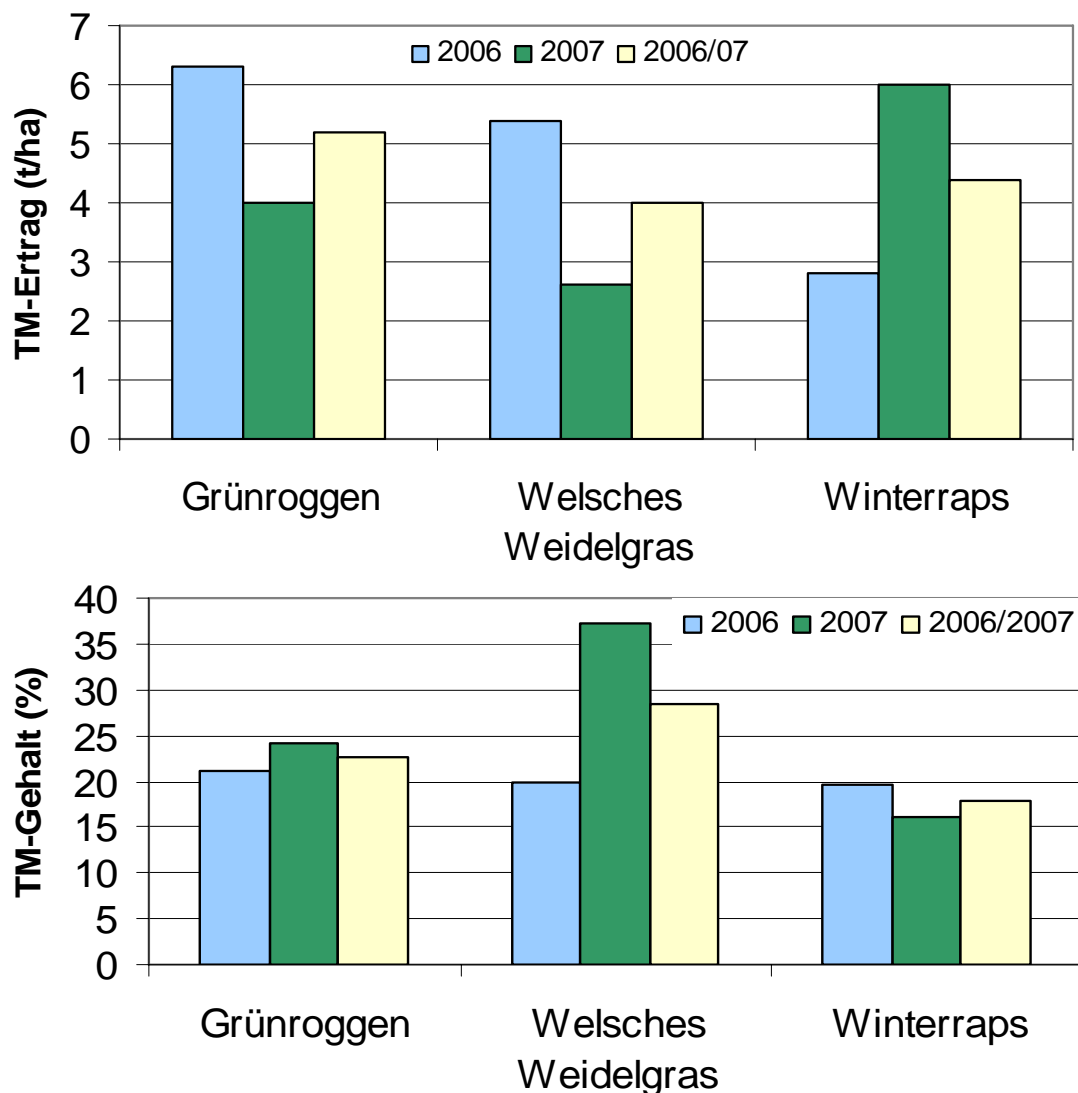


Abbildung 4.3. Trockenmasseertrag und Trockenmassegehalt der Erstfrüchte in den Erntejahren 2006 und 2007 sowie im Mittel der Jahre.

Die Trockenmassegehalte werden ebenso wie die TM-Erträge signifikant durch alle Faktoren bzw. ihre Wechselwirkungen beeinflusst. Während das Welsche Weidelgras im Mittel der Versuchsjahre einen TM-Gehalt von 28,5% erreicht, variieren die Gehalte von Grünschnittroggen und Winterraps zwischen 17,8 und 22,7% und liegen somit unterhalb des für die Silierung als notwendig erachteten Gehaltes von 28% (Abbildung 4.3). Die relativ hohen TM-Gehalte des Weidelgrases ergeben sich durch die erheblichen witterungsbedingten Schwankungen zwischen den Versuchsjahren. Die Frühjahrtrockenheit im Jahr 2007 führte zu einem teilweise raschen Anstieg der TM-Gehalte auf 37,2%, der den Mittelwert in erheblichem Maße beeinflusst. Die Gehalte der anderen beiden Früchte liegen dagegen bei Betrachtung der unterschiedlichen Jahre wesentlich näher beieinander und variieren um ca. 2% um den Mittelwert.



Das geerntete Pflanzenmaterial der Erstfrüchte wurde in jedem Versuchsjahr der Weender Analyse zur Bestimmung der Rohnährstoffe zugeführt, um mit deren Hilfe im Anschluss das Biogas- bzw. Methanbildungsvermögen der Kulturarten bestimmen zu können.

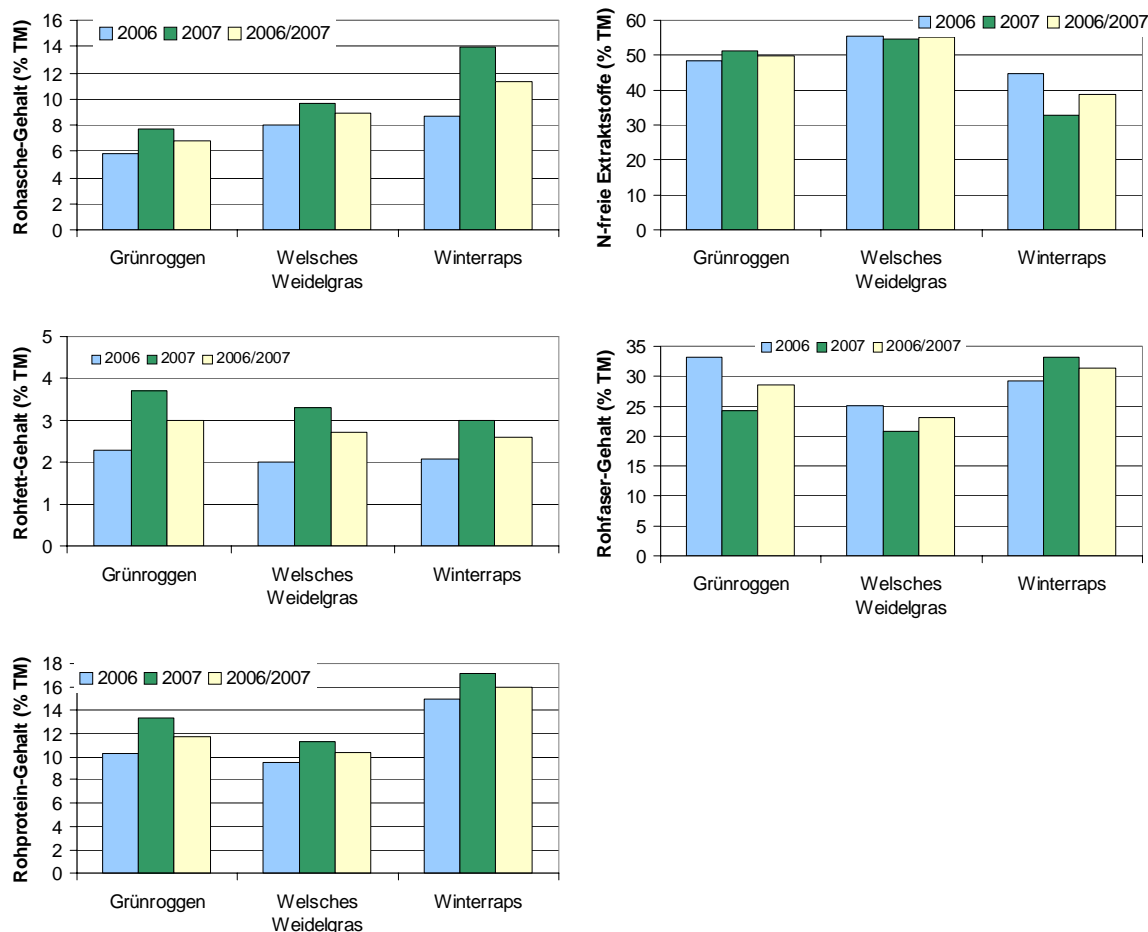


Abbildung 4.4. Rohnährstoffgehalte der Erstfrüchte Grünschnittroggen, Welsches Weidelgras und Winterraps in den Erntejahren 2006 und 2007 sowie im Mittel der Jahre.

Die Gehalte der Rohnährstoffe sind in Abbildung 4.4 dargestellt. Alle Qualitätsparameter werden signifikant durch die Faktoren Jahr, Erstfrucht und (mit Ausnahme des Fettgehaltes) durch die Interaktion beeinflusst. Es zeigt sich, dass im Mittel der Versuchsjahre die Vorfrucht Winterraps den höchsten (11,3%) und Grünschnittroggen den niedrigsten (6,8%) Rohaschegehalt aufweist, während die Verhältnisse beim Rohfettgehalt gerade verschoben sind. Grünschnittroggen enthält im Mittel 3,7% und der vor der Samenanlage geerntete Winterraps 3,0%. Das Welsche Weidelgras liegt mit 9,7% Rohasche und 3,3% Rohfett beide Male in der Mitte der betrachteten Kulturen. Winterraps weist den niedrigsten NfE-Gehalt auf (38,8%), Grünschnittroggen enthält 10,9% mehr und das Welsche Weidelgras enthält 55,1% stickstofffreie Extraktstoffe. Im Rohfaserge-

halt kehrt sich dieses Verhältnis um: Welsches Weidelgras enthält mit 23,0% die geringsten, Grünschnittroggen mit 28,7% mittlere und Winterraps mit 31,3% die höchsten Gehalte.

Im Rohprotein weist Winterraps im Mittel der Versuchsjahre (16%) den höchsten Gehalt auf, gefolgt von Grünschnittroggen mit 11,8% und Weidelgras mit 10,4%. Die Rohproteingehalte ergeben multipliziert mit den entsprechenden TM-Erträgen die N-Mengen in  $\text{kg ha}^{-1}$ , welche mit der Ernte der Erstfrüchte abgefahren wurden (Abbildung 4.5). Im Jahr 2007 wurden mit dem Winterraps über  $160 \text{ kg N ha}^{-1}$  abgefahren, im Jahr 2006 dagegen nur  $68 \text{ kg N ha}^{-1}$ . Jahresschwankungen in diesem Ausmaß können bei den anderen Erstfrüchten nicht festgestellt werden, jedoch variieren auch hier die N-Erträge zwischen  $85$  und  $104 \text{ kg N ha}^{-1}$  beim Grünschnittroggen und zwischen  $46$  und  $82 \text{ kg N ha}^{-1}$  beim Welschen Weidelgras, jedoch mit niedrigeren Entzügen im Jahr 2007.

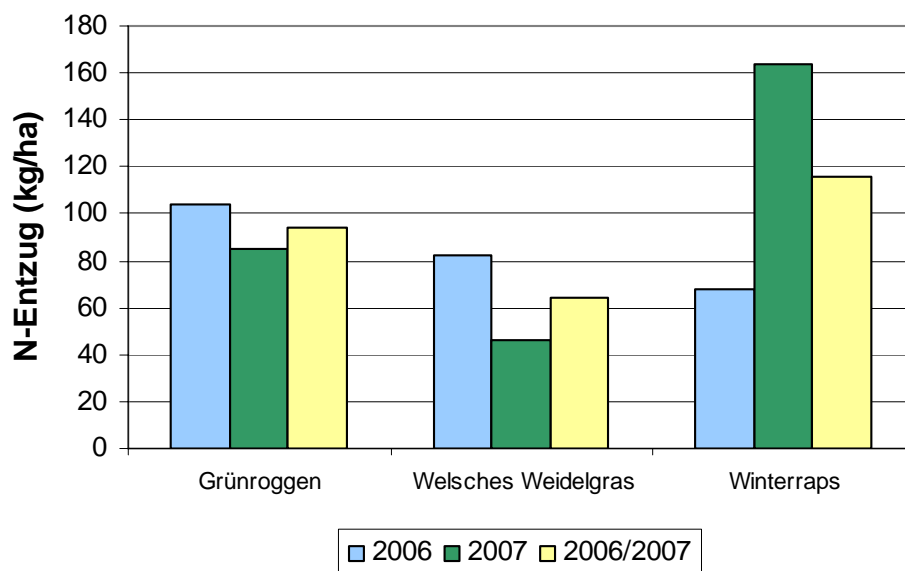


Abbildung 4.5. N-Entzüge der Erstfrüchte in den Erntejahren 2006 und 2007 sowie im Mittel der Jahre.

Mit Hilfe der dargestellten Gehalte an Rohnährstoffen lassen sich die theoretischen Biogas- bzw. Methanausbeuten nach Schattauer und Weiland (2004) errechnen. Bei einem Methangehalt von 55,5% bei Winterroggen, 54,8% bei Welschem Weidelgras und 55,7% ergibt sich eine Methanausbeute von durchschnittlich  $329$ ,  $335$  bzw.  $352 \text{ L CH}_4 \text{ kg}^{-1} \text{ oTM}$  (Abbildung 4.6). Jahresbedingte Schwankungen in der Ausbeute können festgestellt werden in Höhe von ca.  $30 \text{ L CH}_4 \text{ kg}^{-1} \text{ oTM}$  beim Grünschnittroggen und beim Welschen Weidelgras, während die Ausbeute des Winterraps in beiden Jahren nahezu auf identischem Niveau lag.

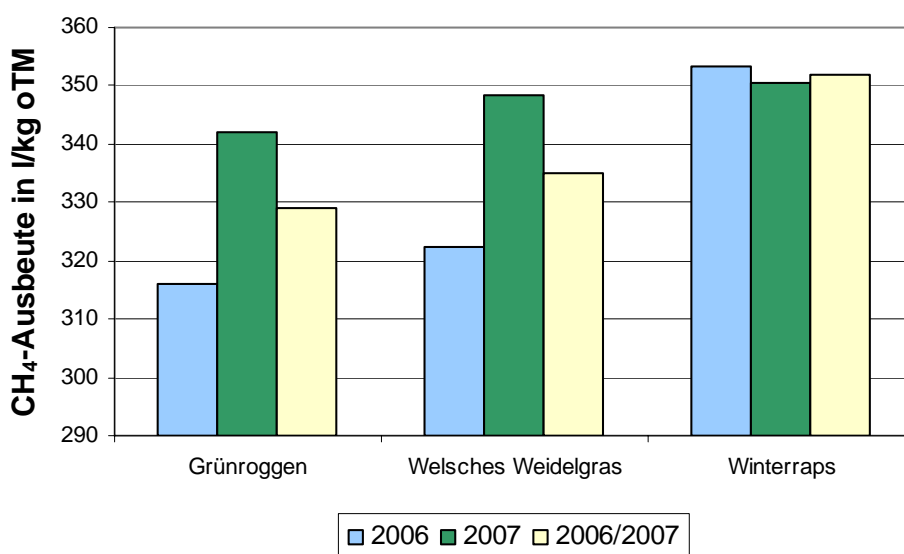


Abbildung 4.6. Theoretische Methanausbeuten der Erstfrüchte in den Erntejahren 2006 und 2007 sowie im Mittel der Jahre.

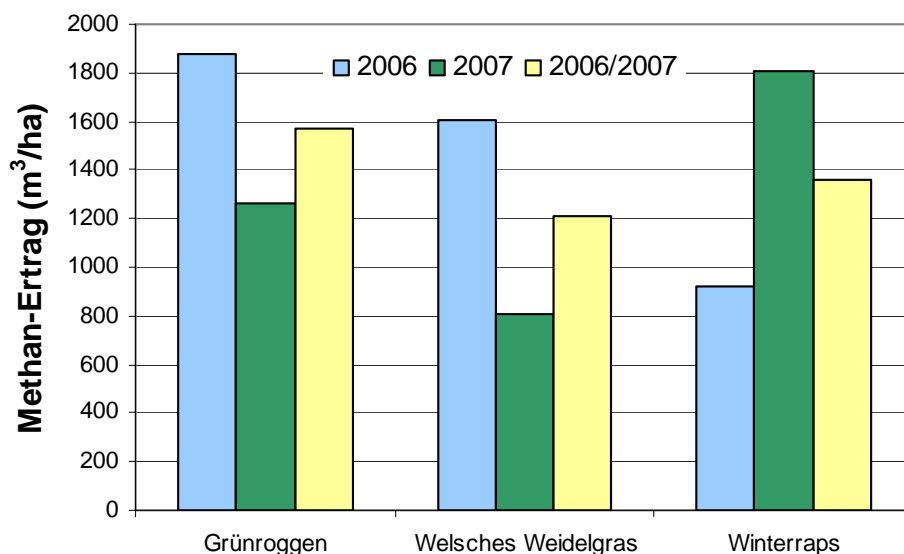


Abbildung 4.7. Theoretische Methanerträge der Erstfrüchte in den Erntejahren 2006 und 2007 sowie im Mittel der Jahre.

Die Methanausbeuten multipliziert mit den organischen Trockenmasseerträgen ergeben die theoretischen Methanerträge, die in diesem Fall beim Welschen Weidelgras im Mittel der Jahre am niedrigsten sind ( $1.208 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ ) (Abbildung 4.7). Die Energieerträge von Winterraps liegen um  $154 \text{ m}^3$  höher und der

Grünschnittroggen realisiert mit  $1.573 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$  die höchsten Methanerträge der hier betrachteten Erstkulturen.

Den Erstkulturen Welsches Weidelgras und Winterroggen folgten Sonnenblumen, Mais und Futterhirse als **Zweitfrüchte**, dem Winterrapss wurde nur Mais nachgestellt. Aus diesem Grunde wurde der Mais nach Winterrapss nicht in die statistische Verrechnung (Tabelle 4.6 sowie Tabellen A7.26 und A7.27) der Erträge und Qualitäten der Zweitfrucht einbezogen. Die statistische Auswertung der Erträge im Jahresmittel (Tabelle 4.6) zeigt, dass die Faktoren Jahr, Beregnung und Zweitfrucht einen signifikanten Einfluss auf den Trockenmasse- und Frischmasseertrag aufweisen, während der Faktor Erstfrucht einen nicht absicherbaren Unterschied hervorruft. Beim Trockenmassegehalt lassen sich identische Ergebnisse feststellen.

Bei gemeinsamer Betrachtung der aufsummierten Erträge von Erst- und Zweitfrüchten in Abbildung 4.8 zeigt sich, dass der dem Winterroggen nachfolgende Anbau von Futterhirse und Mais in der 'minimal' beregneten Variante nahezu identische Erträge aufweist ( $20,8$  versus  $20,5 \text{ t TM ha}^{-1}$ ). Auch die Erträge von Futterhirse und Mais nach Welschem Weidelgras bzw. nach Winterrapss liegen mit  $15$  bis  $16 \text{ t TM ha}^{-1}$  auf demselben Niveau. Der Unterschied im Gesamtertrag wird also ausschließlich von der Erstfrucht hervorgerufen, wobei sich Welsches Weidelgras ertragsschwächer präsentiert. Ein leicht verändertes Bild zeigen dagegen die aufsummierten Trockenmasseerträge in der 'optimal' mit Wasser versorgten Variante. Der Mais ist hier mit  $20 \text{ t TM ha}^{-1}$  der Futterhirse überlegen, wobei sich die Unterschiede lediglich auf  $1,2 \text{ t TM ha}^{-1}$  belaufen. Die 'optimale' Beregnung führt sowohl bei Futterhirse als auch bei Mais zu Ertragszuwächsen von durchschnittlich  $3,7 \text{ t TM ha}^{-1}$  wobei die Erträge von Mais um  $4,4$  und die von Futterhirse um  $3,0 \text{ t TM ha}^{-1}$  steigen. Vor dem Hintergrund einer maximalen Biomasseproduktion auf der Fläche muss konstatiert werden, dass sich im Vergleich zu den C4-Pflanzen der Anbau von Sonnenblumen als Folgekultur nicht lohnt. In der 'minimal' mit Wasser versorgten Variante erzielen diese im gemeinsamen Anbau mit der Erstfrucht nur TM-Erträge zwischen  $11,7$  und  $13,3 \text{ t TM ha}^{-1}$ , in der 'optimal' mit Wasser versorgten Variante liegen diese nur leicht erhöht zwischen  $13,0$  und  $14,6 \text{ t TM ha}^{-1}$ . Die Trockenmassegehalte der Zweitfrüchte lagen im Mittel der Versuchsjahre allesamt über  $25\%$ , so dass von einer guten Siliereignung des Erntematerials ausgegangen werden kann.

Tabelle 4.6. Einfluss von Wasserregime, Erstfrucht und Zweitfrucht auf Wuchshöhe, Nährstoffgehalte (i.d. TM), TM-Gehalt, Methanausbeute, Erträge und N-Entzug im Mittel der Jahre 2006 und 2007 am Standort Forchheim.

Wasser- regime (W)	Erstfrucht (E)	Zweitfrucht (Z)	Wuchs- höhe cm	Roh- asche %	Roh- fett %	Roh- protein %	Roh- faser %	NfE %	TM- Gehalt %	CH <sub>4</sub> - Ausbeute L (kg oTM) <sup>-1</sup>	FM- Ertrag t ha <sup>-1</sup>	TM- Ertrag t ha <sup>-1</sup>	CH <sub>4</sub> - Ertrag m <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup>	N- Entzug kg ha <sup>-1</sup>	
'Minimal'	Grünschnitt- roggen	Mais	249	3,8	2,5	9,8	18,9	65,0	31,0	295	49,5	15,3	4.359	244	
		Sonnenblume	145	11,0	12,7	10,8	28,0	37,5	29,5	279	27,3	8,1	2.003	138	
		Futterhirse	237	4,4	1,8	7,1	25,1	61,5	27,8	242	56,1	15,6	3.623	176	
		Mittel	210	6,4	5,7	9,2	24,0	54,7	29,5	272	44,3	13,0	3.329	186	
	Welsches Weidelgras	Mais	248	3,9	2,7	9,7	19,9	63,9	32,0	296	47,6	15,3	4.330	239	
		Sonneblume	143	12,0	13,3	11,2	25,4	38,1	28,6	281	27,0	7,7	1.910	141	
		Futterhirse	229	4,3	1,9	7,4	25,7	60,7	28,4	243	55,9	16,0	3.714	186	
		Mittel	207	6,7	5,9	9,4	23,7	54,3	29,7	273	43,5	13,0	3.318	189	
	Winterraps <sup>#</sup>	Mais	248	4,0	2,4	10,4	19,3	63,9	32,0	294	48,7	15,6	4.404	259	
		Sonnenblume	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
		Futterhirse	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
		Mittel	248	4,0	2,4	10,4	19,3	63,9	32,0	294	48,7	15,6	4.404	259	
	Mittel			209	6,6	5,8	9,3	23,8	54,5	29,6	273	43,9	13,0	3.323	187
	'Optimal'	Grünschnitt- roggen	Mais	278	3,3	2,4	8,2	19,1	66,9	33,4	296	60,3	20,1	5.763	274
			Sonnenblume	157	10,1	14,5	10,3	26,5	38,5	27,4	284	34,5	9,4	2.406	157
Futterhirse			278	4,7	1,8	6,1	24,3	63,1	26,9	242	69,2	18,7	4.321	187	
Mittel			238	6,0	6,3	8,2	23,3	56,2	29,2	274	54,7	16,1	4.163	206	
Welsches Weidelgras		Mais	272	3,3	2,4	8,5	19,7	66,0	33,8	296	57,2	19,4	5.544	271	
		Sonnenblume	161	9,7	14,9	10,6	26,5	38,3	26,0	284	34,9	9,0	2.320	155	
		Futterhirse	280	4,5	1,7	6,1	23,8	63,9	26,8	242	69,9	19,0	4.376	189	
		Mittel	238	5,8	6,4	8,4	23,3	56,1	28,8	274	54,0	15,8	4.080	205	
Winterraps <sup>#</sup>		Mais	273	3,2	2,4	9,4	16,6	68,5	32,2	297	60,4	19,5	5.595	297	
		Sonnenblume	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
		Futterhirse	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
		Mittel	273	3,2	2,4	9,4	16,6	68,5	32,2	297	60,4	19,5	5.595	297	
Mittel				238	5,9	6,3	8,3	23,3	56,1	29,0	274	54,3	15,9	4.122	206
GD ( $P < 0,05$ ) <sup>†</sup>				18	-	-	0,5	-	1,6	0,6	-	2,8	0,9	209	9,5
GD ( $P < 0,05$ ) <sup>‡</sup>				-	-	-	-	-	-	0,4	-	-	-	-	-

Tabelle 4.6. Einfluss von Wasserregime, Erstfrucht und Zweitfrucht auf Wuchshöhe, Nährstoffgehalte (i.d. TM), TM-Gehalt, Methanausbeute, Erträge und N-Entzug im Mittel der Jahre 2006 und 2007 am Standort Forchheim.

Wasser- regime (W)	Erstfrucht (E)	Zweitfrucht (Z)	Wuchs- höhe cm	Roh- asche %	Roh- fett %	Roh- protein %	Roh- faser %	NfE %	TM- Gehalt %	CH <sub>4</sub> - Ausbeute L (kg oTM) <sup>-1</sup>	FM- Ertrag t ha <sup>-1</sup>	TM- Ertrag t ha <sup>-1</sup>	CH <sub>4</sub> - Ertrag m <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup>	N- Entzug kg ha <sup>-1</sup>
<u>Signifikanz der F-Werte aus der Varianzanalyse</u>														
	J		NS	NS	NS	**	*	NS	**	**	**	**	**	**
	W		**	NS	NS	**	NS	*	**	NS	**	**	**	**
	W x J		NS	NS	*	*	*	NS	**	NS	**	**	**	**
	E		NS	NS	NS	NS	*	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
	E x W		NS	NS	NS	NS	NS	NS	*	NS	NS	NS	NS	NS
	E x J		*	NS	**	NS	**	NS	**	**	NS	*	*	NS
	E x W x J		*	*	**	NS	*	NS	NS	**	NS	NS	NS	NS
	Z		**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**
	Z x W		**	NS	*	NS	NS	NS	**	NS	*	**	**	NS
	Z x E		NS	NS	NS	NS	NS	NS	*	NS	NS	NS	NS	NS
	Z x E x W		NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
	Z x J		**	**	*	**	NS	**	**	**	**	**	**	**
	Z x W x J		NS	NS	*	*	NS	NS	*	NS	NS	*	**	NS
	Z x E x J		NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	*	*	NS	NS	NS
	Z x E x W x J		NS	NS	*	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS

† Grenzdifferenz für Mittelwertvergleiche zwischen Wasserregimen innerhalb eines Merkmals.

‡ Grenzdifferenz für Mittelwertvergleiche von Wasserregime x Erstfrucht-Kombinationen innerhalb eines Merkmals.

\*, \*\* Signifikant für  $P < 0,05$  und  $P < 0,01$ ; NS = nicht signifikant für  $P < 0,05$ .

NfE = Stickstofffreie Extraktstoffe.

# Nach Wintertraps nur Zweitfrucht Silomais.

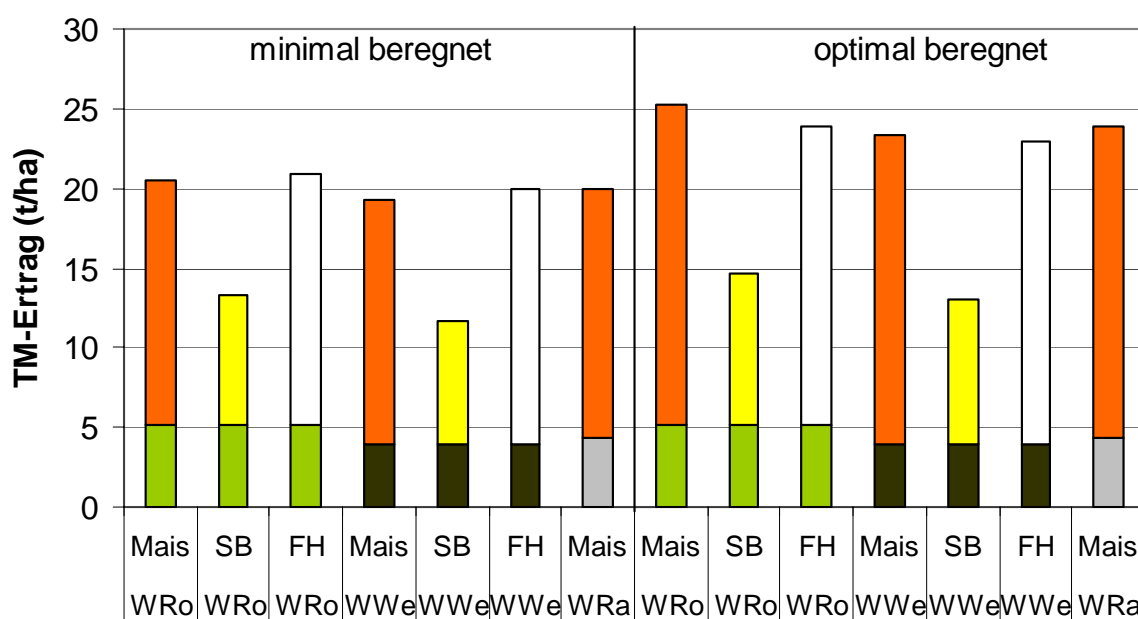


Abbildung 4.8. Aufsummierte Trockenmasseerträge der Erst- bzw. Zweitfrucht im Mittel der Untersuchungsjahre 2005/2006 und 2006/2007.

Um die Energieleistung der einzelnen Kulturen einordnen zu können, wurde das gesamte Erntematerial einer Weender Analyse unterzogen (Abbildung 4.9), um aus den entsprechenden Gehalten an Rohnährstoffen die theoretischen Methanausbeuten bzw. die potenziell realisierbaren Methanerträge errechnen zu können. Die Gehalte an Rohasche, Rohfett, Rohprotein, Rohfaser und N-freien Extraktstoffen variieren zwischen den Versuchsjahren und den entsprechenden Kulturen, wobei insbesondere die Ölpflanze Sonnenblume andere Rohasche-, Rohfett und NfE-Gehalte aufweist als Futterhirse und Mais.

Auch bei den Rohnährstoffgehalten weist der Faktor Erstfrucht mit Ausnahme des NfE-Gehalts keinen signifikanten Einfluss auf, während die Hauptfaktoren Zweitfrucht und Jahr in erheblichem Maße die Qualitätsparameter beeinflussen mit deren Hilfe und unter Zunahme der Verdaulichkeiten die Methanausbeuten bzw. Methan-Erträge berechnet werden.

Die Abbildung 4.11 zeigt die errechneten Methanausbeuten, wie sie von den einzelnen Zweitfrüchten im Mittel der Vorfrüchte realisiert wurden. Die statistische Auswertung weist einen nicht signifikanten Effekt der Beregnung aus, der in der Grafik dahingehend abgelesen werden kann, dass die Unterschiede zwischen den 'optimal' und 'minimal' beregneten Varianten vernachlässigt werden können. Der Mais weist eine Methanausbeute von 296, Futterhirse von 242 und Sonnenblume von 282 L Methan  $\text{kg}^{-1}$  oTM auf. Die jahresbedingten

Unterschiede sind, mit Ausnahme bei der Sonnenblume (in 2007: +37 L CH<sub>4</sub> kg<sup>-1</sup> oTM), zu vernachlässigen. Die Sonnenblumen liegen also mit dem Mais in der Methanausbeute nahezu gleich auf, wohingegen durch Fermentation von Futterhirse ca. 50 L CH<sub>4</sub> kg<sup>-1</sup> oTM weniger gebildet werden kann als bei Mais und Sonnenblume.

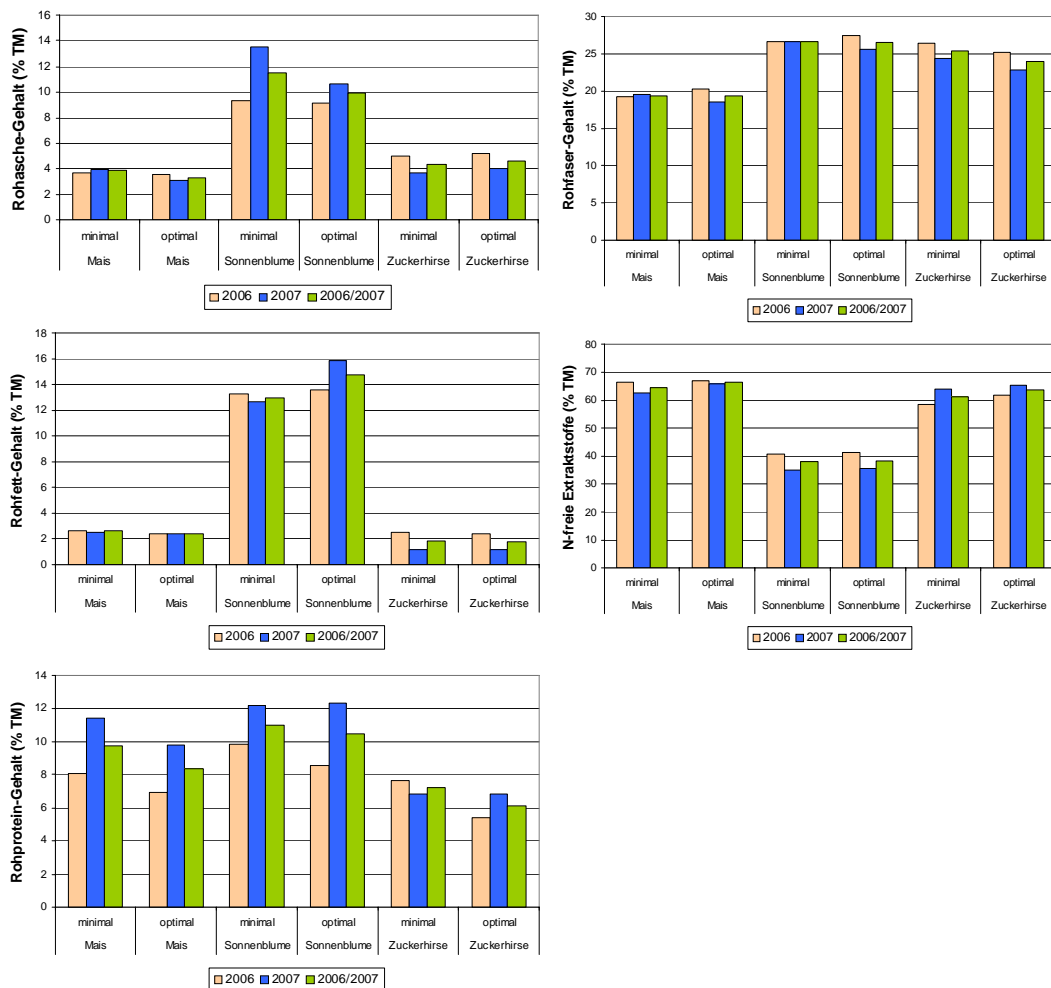


Abbildung 4.9. Gehalte der Zweitkulturen (im Mittel der Vorfrüchte) an Rohasche, Rohfett, Rohprotein, Rohfaser und N-freien Extraktstoffen in Abhängigkeit vom Wasserregime und den Versuchsjahren 2006, 2007 und im Mittel der Jahre.

Unter Berücksichtigung des Trockenmasseertrages ergibt sich jedoch ein anderes Bild hinsichtlich des Methanertrages. Es zeigt sich ein signifikanter Einfluss des Jahres, der Beregnung und der Zweitkultur und die Unterschiede zwischen den Kulturarten sind massiv. Im Jahr 2007, welches allgemein die höchsten Methanerträge lieferte, erreichen die Sonnenblumen in der 'minimal' berechneten Variante 2.112 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>, die Futterhirse 4.221 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> und der Mais 4.652 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>. In der 'optimal' berechneten Variante sind die Unterschiede noch größer,



die Sonnenblumen erreichen  $2.756 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ , die Futterhirse  $5.148 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$  und der Mais  $6.778 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ . Im Mittel der Jahre ergibt sich demnach ein aufsummierter Methanertrag der Erst- und Zweitfrüchte in der 'minimal' mit Wasser versorgten Variante von  $3.118$  (Sonnenblumen nach Welschem Weidelgras) bis  $5.933 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$  (Mais nach Winterroggen). Die Berechnung führte zu einem Methanertragszuwachs bei Mais zwischen  $1.214$  und  $1.403 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ , wohingegen die Futterhirse mit durchschnittlich  $680 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$  bzw. die Sonnenblumen mit  $406 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$  einen niedrigeren Ertragszuwachs verzeichnen konnte.

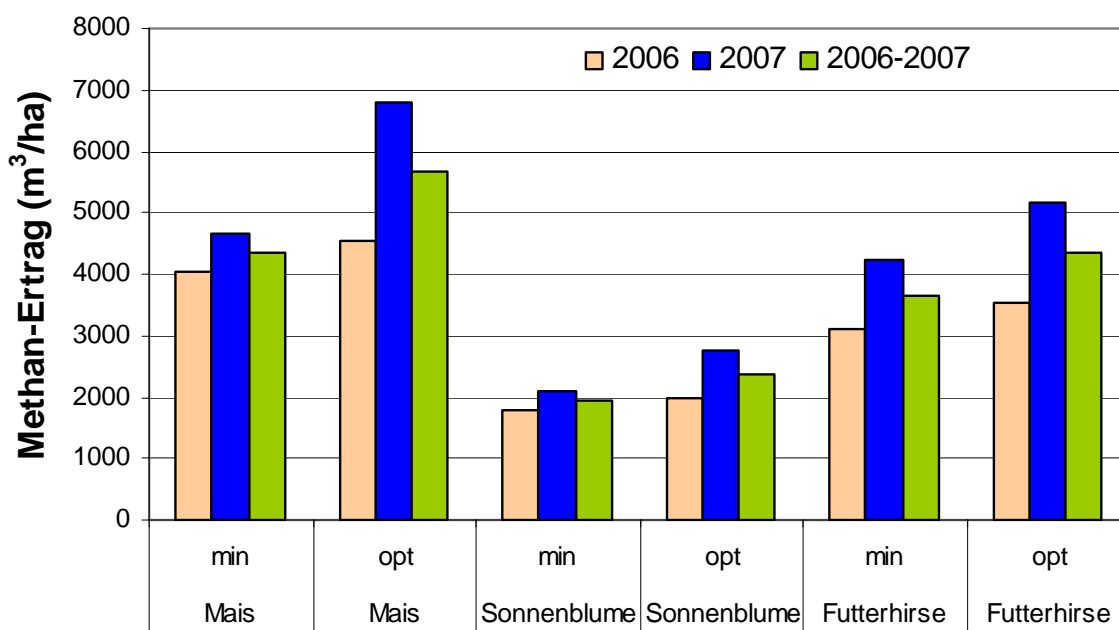


Abbildung 4.10. Methanausbeuten der Zweitfrüchte in Abhängigkeit vom Wasserregime im Mittel der Vorfrüchte in den Versuchsjahren 2006 bzw. 2007 und im Mittel der Jahre.

Auch beim Methanertrag lässt sich festhalten, dass die Futterhirse unter trockenen Bedingungen als Alternative zum Mais in Frage kommt, während die Eignung von Sonnenblumen in Zweikulturnutzung weiterhin in Frage gestellt werden muss. Die niedrigen Erträge können nicht durch die bessere Inhaltstoffzusammensetzung ausgeglichen werden.

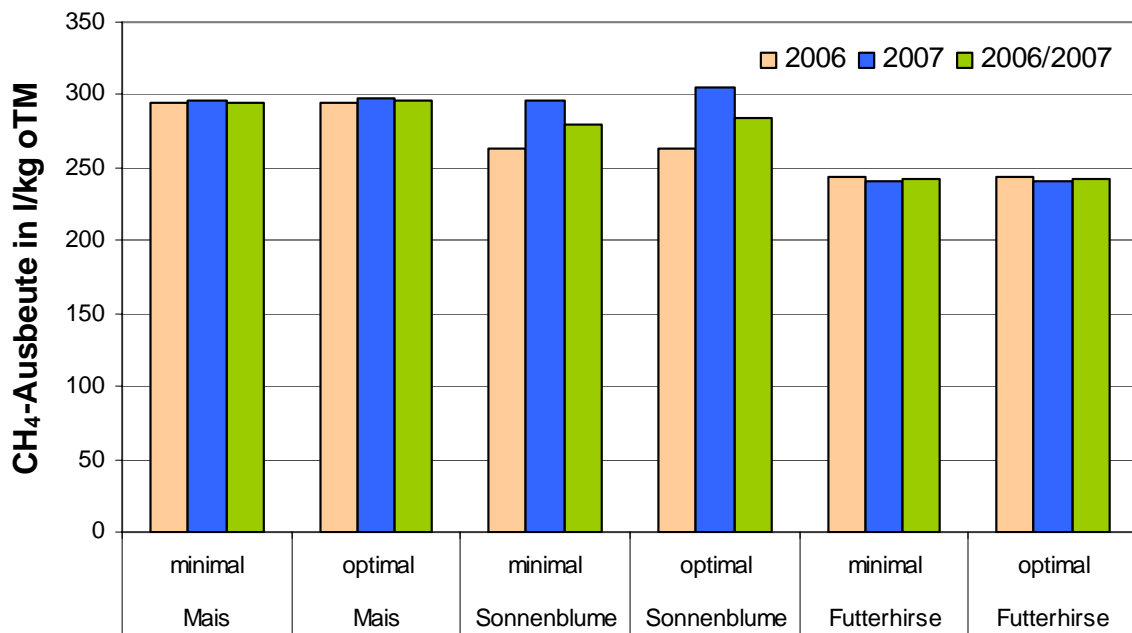


Abbildung 4.11. Methanerträge der Zweitfrüchte in Abhängigkeit vom Wasserregime im Mittel der Vorfrüchte in den Versuchsjahren 2006 bzw. 2007 und im Mittel der Jahre.

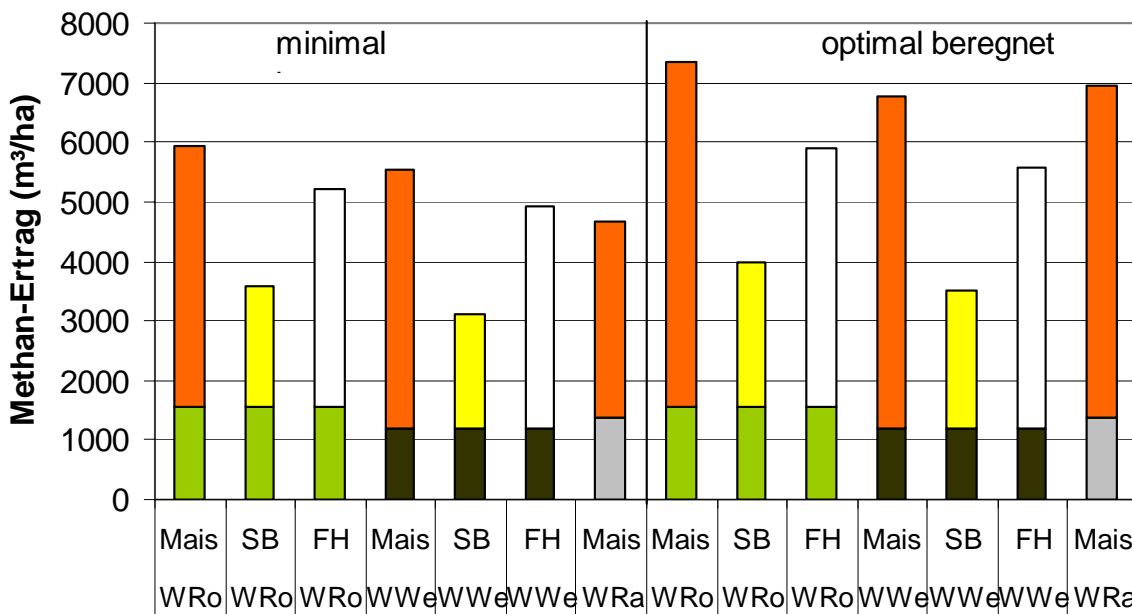


Abbildung 4.12. Aufsummierter Methanertrag der Erst- und Zweitfrüchte in Abhängigkeit vom Wasserregime und der Vorfrucht im Mittel der Versuchsjahre 2005/2006 bzw. 2006/2007.

**Zusammenfassend** lässt sich aus agronomischer Sicht festhalten, dass ein Anbau von zwei Kulturen pro Jahr ohne Probleme möglich ist, wenn eine gegebenenfalls erforderliche zusätzliche Wassergabe möglich ist, d.h. wenn es sich um einen Beregnungsstandort handelt, der entsprechend technisch ausgerüstet ist. Es zeigte sich, dass nicht unbedingt der durch die Erstkultur beeinträchtigte Wasserhaushalt den Anbau von zwei Kulturen behindert, sondern eher die Witterungsbedingungen zur Ernte der Erst- bzw. zur Aussaat der Zweitfrucht. Eine Etablierung der Bestände muss auf jeden Fall sichergestellt sein, um ein erfolgversprechendes Zweikulturnutzungssystem etablieren zu können.

Auf den Beregnungsstandorten im Süden Deutschlands unter warmen Bedingungen konkurriert das Zweikulturnutzungssystem mit dem Hauptfruchtanbau von insbesondere Sommerungen und unter gegebenen Standortbedingungen und zur Biomasseproduktion vor allem mit dem Mais. Unter nahezu optimalen Wachstumsbedingungen wie in Forchheim ist Mais hinsichtlich der Biomasseproduktion noch unangefochten, wenn man Ergebnisse des Hauptfruchtanbaus mit heranzieht, die ebenfalls im Rahmen dieses Forschungsprojektes erhoben wurden. Die aufsummierten Trockenmasseerträge von  $25 \text{ t ha}^{-1}$  von Erst- und Zweitkultur können Maissorten dort als Hauptfrucht realisieren mit dem ökonomischen Vorteil einer einmaligen Feldbestellung. Inwieweit sich die Zweikulturnutzung mit den ökologischen Vorteilen einer ganzjährigen Bodenbedeckung vor diesem Hintergrund durchsetzen kann, bleibt abzuwarten. Ebenfalls bleibt abzuwarten, wie sich der Anbau der Sorghumhirsen zur Biomasseproduktion entwickeln wird. Sie zeigen bereits ihre Eignung unter trockenen Witterungsbedingungen als Ergänzung zum Mais in die Fruchtfolge aufgenommen zu werden, bei fortschreitender züchterischer Bearbeitung könnten Sorghumhirsen insofern eine mögliche Alternative darstellen. Gerade im Zweikulturnutzungssystem muss die Etablierung der Folgekultur gelingen, welches oftmals nur durch zusätzliche Wassergaben sichergestellt werden kann. Somit stellt sich die Beregnung in warmen Regionen Deutschlands auch bei der Biomasseproduktion als unabdingbares Mittel dar um die Erträge absichern zu können.

#### 4.4 Versuchsstandort Müncheberg (J. Hufnagel und G. Rosner, ZALF)

Die **Bestandesentwicklung** der **Erstfrüchte** im Herbst verlief in beiden Versuchsjahren zufriedenstellend. Der Deckungsgrad überschritt 80% und die Bestände erreichten Höhen von ca. 14 cm. Die niedrigen Temperaturen und die länger anhaltende Schneedecke im Winter 2005/2006 führte, besonders beim Welschen Weidelgras, zu hohen Biomasseverlusten. Zu Vegetationsbeginn Ende März waren die Bestände noch ca. 8 cm hoch und der Deckungsgrad lag zwischen 70 und 80%. In beiden Jahren erholten sich die Bestände rasch, bedingt durch die guten Wachstumsbedingungen im April.

Wegen des ungewöhnlich warmen Winters 2006/2007 kam es praktisch zu keiner Wachstumspause. Bereits im März war der Winterroggen stark mit Mehltau befallen. Der Mehltau verschwand im extrem trockenen April und wurde nicht ertragswirksam. Das Welsche Weidelgras wurde vom Mehltau nicht befallen. Zu Vegetationsbeginn betrug der Deckungsgrad beim Welschen Weidelgras 77% und beim Winterroggen 85%. Der mit Roundup behandelte Winterroggen bedeckte zum Zeitpunkt des Umbruchs den Boden zu 80% (2006) bzw. zu 85% (2007). Im Jahr 2007 wurden die Erstfrüchte acht Tage früher geerntet als im Jahr 2006.

Die erste und zweite Aussaat der **Zweitfrüchte** Sonnenblume und Mais erfolgte 2007 etwa zehn Tage früher als 2006. Futterhirse wurde in beiden Jahren zum gleichen Termin gesät. In beiden Jahren liefen Erst- und Zweitsaat gleichermaßen zügig auf. Die Jugendentwicklung von Mais und Sonnenblume verlief 2006, bedingt durch die niedrigeren Temperaturen, nicht so zügig wie 2007. Die Futterhirse entwickelte sich in beiden Jahren langsamer als Mais und Sonnenblume. Im Jahr 2006 führten Ende Mai bis Anfang Juni einige kalte Nächte (bis 1,9 °C) zu einer kurzfristigen Gelbfärbung der Erstsaat von Futterhirse. In beiden Jahren war das Wasserangebot im Boden bis Ende Juni kein begrenzender Faktor für das Wachstum. Im Jahr 2006 hatte ab Ende Juni die Wasserversorgung erheblichen Einfluss auf die Pflanzenentwicklung. Die in Zweitfruchtstellung gesäten Fruchtarten Mais und Futterhirse bildeten bei 'minimaler' Bewässerung erheblich weniger Biomasse und blühten später und ungleichmäßiger als die entsprechenden Varianten mit 'optimaler' Bewässerung. Bei der in Zweitfruchtstellung ausgesäten Sonnenblume zeigten sich ebenfalls Unterschiede, allerdings in deutlich abgeschwächter Form. Auch bei den in Hauptfruchtstellung gesäten Fruchtarten war die Zusatzbewässerung wirksam, jedoch deutlich geringer als bei den Zweitfrüchten nach Winterfrucht. Mais, Sonnenblume und Futterhirse in Hauptfruchtstellung bildeten ohne Zusatzbewässerung

deutlich höhere Bestände als in Zweitfruchtstellung: Mais um 20%, Sonnenblumen um 30% und Futterhirse um 15%.

In den 'optimal' bewässerten Varianten gab es keine oder nur geringe Höhenunterschiede zwischen den Erst- und Zweitsaaten. Im Jahr 2006 wurde die Biomassebildung durch Trockenheit stark verlangsamt. Die 'minimal' bewässerten Zweitsaaten Mais und Futterhirse wurden später geerntet als die bewässerten Varianten. Anders im nassen Sommerhalbjahr 2007, wo sich sowohl die 'optimal' als auch die 'minimal' bewässerten Varianten kontinuierlich entwickelten. Die 'optimale' Bewässerung führte zu sichtbaren, aber geringen Unterschieden, die sich zudem zum Erntezeitpunkt hin noch verwuchsen. Im Jahr 2007 wurden die Zweitfrüchte um ein bis zwei Wochen später geerntet als im Jahr 2006, die Zweitsaathirse sogar erst am 8.10.2007. Die Zeit für Biomassebildung war für die Zweitfrüchte im Jahr 2007 um drei bis vier Wochen länger als im Jahr 2006.

An **Krankheiten** trat lediglich im März 2007 Mehltau an Winterroggen auf (Befallsbonitur 4). Der Mehлтаubefall wurde nicht ertragwirksam, da er im trockenen April völlig verschwand. An den Zweitfrüchten wurde kein Pilzbefall festgestellt.

Problematischer als die Krankheiten waren hingegen die **Schädlinge**. Mais wurde in beiden Jahren vom Maiszünsler befallen. Im Jahr 2006 war der Befall stark (Boniturnote 9; Abbildung 4.13), 2007 etwas schwächer (Boniturnote 6-7), Futterhirse dagegen nur 2006 (Boniturnote 2; Abbildung 4.14). An Mais trat in beiden Jahren Beulenbrand auf (Boniturnoten 2006: 2 bis 5, 2007: 1 bis 2). Im Jahr 2007 wurden Sonnenblumen beobachtet, die in Höhe der Bodenoberfläche nekrotische Einschnürungen am Stängel aufwiesen und bei Wind umfielen (Abbildung 4.15). Diese Nekrosen waren vermutlich die Folge des eingesetzten Herbizides, das nach längerer Trockenheit durch Starkregen in die Bodentrichter, die um die Stängel entstanden waren, gespült und dort konzentriert wurde. Auf den Flächen zur Ertragsbestimmung war der Anteil geschädigter Sonnenblumen vernachlässigbar.

Zum Schutz gegen Vogelfraß wurden die Sonnenblumen in beiden Jahren nach der Aussaat mit Vlies abgedeckt, welches bei Erreichen von BBCH-Stadium 12 wieder entfernt wurde. In beiden Jahren wurden die Sonnenblumenkörbe der Erntereihen vom Blühende bis zur Ernte mit Crispack-Beuteln gegen Vogelfraß geschützt.



Abbildung 4.13, 4.14 und 4.15. Maiszünslerbefall an Mais am 19.9.2006 (oberes Bild) und an Futterhirse am 15.9.2006 (mittleres Bild). Nekrotische Einschnürungen am Stängel von Sonnenblume (EC 34/35) am 13.7.2007 (unteres Bild).

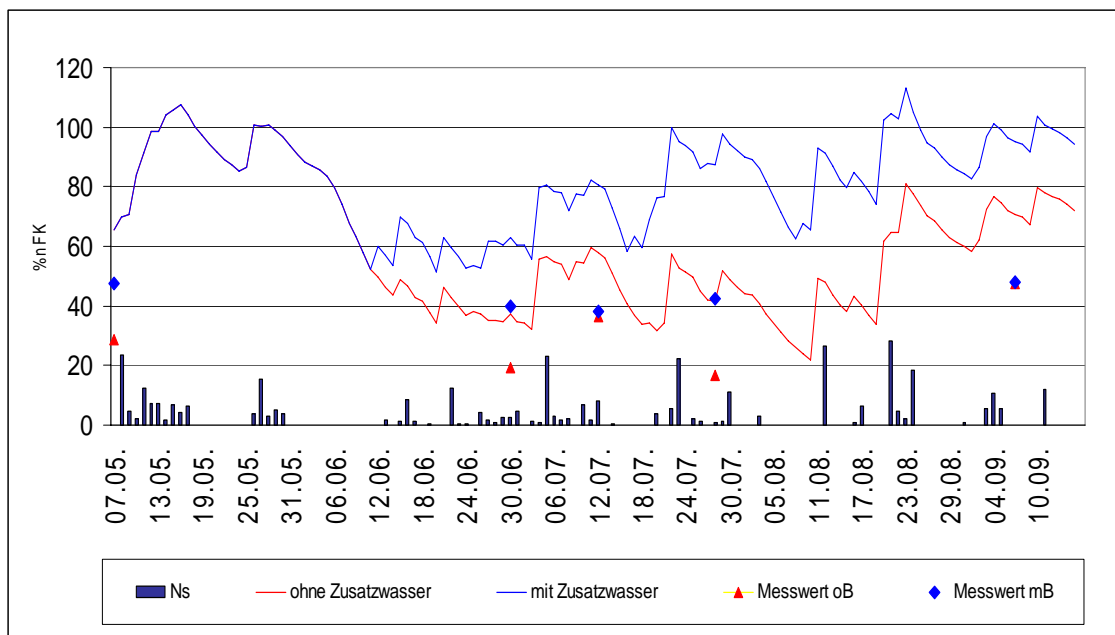


Abbildung 4.16. Niederschläge und Bodenwassergehalte (% nFK) nach WR-Roundup) in 0 bis 60 cm Tiefe vom 7.5. bis 15.9.2007 für die Variante Hauptfruchtanbau Mais (nach Agrowetter berechnet und mit TDR-Sonden gemessen).

Die Erstfrüchte wurden weder 2006 noch 2007 bewässert. Die Zweitfrüchte in der Variante 'Optimal' wurden in der Zeit vom 12.6. bis 4.8.2006 und vom 12.6. bis 9.8.2007 mit Tropfschläuchen bewässert. Die Bewässerungsmengen unterschieden sich deutlich in den beiden Versuchsjahren. Im trockenen Jahr 2006 wurden zum 1. und 2. Aussattermin der Mais jeweils mit 224 bzw. 219 mm, die Sonnenblumen mit 224 bzw. 219 mm und die Futterhirse mit 189 bzw. 219 mm bewässert. Im feuchten Sommer 2007 lagen die Wassergaben um etwa 150 mm niedriger. Der Mais erhielt 75 und 90 mm, Sonnenblume 75 und 85 mm und Futterhirse 55 und 45 mm. Wegen der starken und anhaltenden Frühsommertrockenheit wurden 2006 alle Versuchsvarianten mehrfach bewässert, um einem Verlust des Versuches vorzubeugen. Mit einem Weitstrahlregner wurden insgesamt 39 mm ausgebracht. Die Höhe und der Zeitpunkt der jeweiligen Wassergaben basierten auf Empfehlungen von 'Agrowetter' (s. Gliederungspunkt 1.3). Es erwies sich in beiden Jahren als nicht ganz einfach, mit 'Agrowetter' den Zeitpunkt und die Höhe der einzelnen Bewässerungsgaben festzulegen. Vergleichende Messungen der Bodenwassergehalte mit TDR-Sonden (EasyTest, Lublin, Polen) in der Variante Mais nach Winterroggen führten zu deutlich niedrigeren Werten als den von Agrowetter berechneten (Abbildung 4.16). Mit der Bewässerung wurde deshalb schon begonnen, wenn Agrowetter noch Werte prognostizierte, die deutlich über den avisierten 50% nFK lagen. Auf diese Weise sollte ein ertragsrelevanter Trockenstress verhindert werden.

Tabelle 4.7. Mittelwerte der Erstfrüchte für Wuchshöhe, Nährstoffgehalte (i.d. TM), TM-Gehalt, Methanausbeute, Erträge und N-Entzug im Mittel der Jahre 2006 und 2007 am Standort Müncheberg.

Erstfrucht (E)	Wuchshöhe cm	Rohasche %	Rohfett %	Rohprotein %	Rohfaser %	NfE %	TM-Gehalt %	CH <sub>4</sub> -Ausbeute L (kg oTM) <sup>-1</sup>	FM-Ertrag t ha <sup>-1</sup>	TM-Ertrag t ha <sup>-1</sup>	CH <sub>4</sub> -Ertrag m <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup>	N-Entzug kg ha <sup>-1</sup>
Grünschnittroggen	72	5,8	2,5	9,2	30,1	52,5	25,1	315	28,4	7,1	2.115	105
Welsches Weidelgras	45	7,4	2,1	8,4	21,8	60,3	25,8	337	17,1	4,4	1.374	59
GD ( $P < 0,05$ ) <sup>†</sup>	2	0,3	0,3	0,5	0,9	1,3	0,7	1	1,7	0,3	101	7
<u>Signifikanz der F-Werte aus der Varianzanalyse</u>												
J	*	*	NS	**	**	**	**	*	NS	**	**	NS
E	**	**	**	**	**	**	*	**	**	**	**	**
E x J	**	NS	NS	**	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	**

<sup>†</sup> Grenzdifferenz für Mittelwertvergleiche zwischen Erstfrüchten innerhalb eines Merkmals.

\*, \*\* Signifikant für  $P < 0,05$  und  $P < 0,01$ ; NS = nicht signifikant für  $P < 0,05$ .

NfE = Stickstofffreie Extraktstoffe.



Die zusammenfassenden **Ergebnisse** über die beiden Versuchsdurchgänge sind für die Erstfrüchte Winterroggen und Welsches Weidelgras in Tabelle 4.7 und für die Zweitfrüchte Mais, Sonnenblume und Futterhirse in der Tabelle 4.8 dargestellt. Die entsprechenden Ergebnisse der Einzeljahre können den Tabellen A7.28 und A7.29 für die Erstfrüchte, den Tabellen A7.30 und A7.31 für die Zweitfrüchte entnommen werden. Bei den **Erstfrüchten** überstiegen die Frisch- und Trockenmasseerträge von Grünschnittroggen im zweijährigen Mittel mit 28,4 und 7,1 t ha<sup>-1</sup> die von Welschem Weidelgras signifikant um 11,3 und 2,7 t ha<sup>-1</sup>. Die TM-Erträge von Grünschnittroggen lagen im Mittel, ebenso wie in den Einzeljahren, um etwa 60% höher als die von Welschem Weidelgras. Im Jahr 2007 erzielte der Grünschnittroggen einen um 1,4 t ha<sup>-1</sup> höheren TM-Ertrag als 2006, Welsches Weidelgras dagegen lediglich einen Mehrertrag von 0,8 t ha<sup>-1</sup>. Die Trockenmassegehalte beider Fruchtarten unterschieden sich im Mittel der Jahre mit 25,1 und 25,8% nicht signifikant voneinander. Die TM-Gehalte der beiden Fruchtarten waren im Jahr 2007 um 2 bis 3 Prozentpunkte höher als 2006. Der Winterroggen erzielte mit 2.115 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> einen um 54% signifikant höheren Methanertrag als das Welsche Weidelgras. Im Jahr 2007 lagen die Methanerträge bei Winterroggen um 22% und bei Welschem Weidelgras um 20% höher als 2006. Die Methanausbeute bei Weidelgras lag unabhängig vom Versuchsjahr bei 337 L CH<sub>4</sub> kg<sup>-1</sup> oTM und war damit um 7% höher als beim Grünschnittroggen. Der Grünschnittroggen entzog im Mittel der beiden Versuchsjahre 105 kg N ha<sup>-1</sup> und damit fast doppelt soviel wie das Welsche Weidelgras. Die jahresbedingten Unterschiede im N-Entzug waren nicht signifikant.

Im zweijährigen Mittel erzielten die **Zweitfrüchte** Mais, Sonnenblume und Futterhirse FM-Erträge von 64, 35 und 56 t ha<sup>-1</sup>. Dieses entsprach durchschnittlichen TM-Erträgen von 21, 10 und 16 t ha<sup>-1</sup> bei mittleren TM-Gehalten von 32, 31 und 28%. Im Jahr 2007 lagen die TM-Erträge bei Mais um 63%, bei Sonnenblume um 26% und bei Futterhirse um 23% über denen von 2006. Die höheren TM-Erträge im Jahr 2007 resultierten bei Mais aus höheren FM-Erträgen (+42%) und höheren TM-Gehalten (+13%), bei Sonnenblumen aus niedrigeren Erträgen (-21%) bei deutlich höheren TM-Gehalten (+57%) und bei Futterhirse aus höheren FM-Erträgen (+31%) bei ähnlichen TM-Gehalten wie im Jahr 2006. Die höchsten TM-Erträge im Versuch erzielte der Mais 2007 bei 'optimaler' Bewässerung, die niedrigsten TM-Erträge die Sonnenblume bei 'minimaler' Bewässerung. Die TM-Erträge der Zweitfrüchte in Abhängigkeit von Beregnung und Vorfrucht zeigt Abbildung 4.17 im Mittel der Jahre sowie in den Einzeljahren 2006 und 2007.

Tabelle 4.8. Einfluss von Wasserregime und Erstfrucht auf Wuchshöhe, Nährstoffgehalte (i.d. TM), TM-Gehalt, Methanausbeute, Erträge und N-Entzug der Zweitfrüchte im Mittel der Jahre 2006 und 2007 am Standort Müncheberg.

Wasser- regime (W)	Erstfrucht (E)	Zweitfrucht (Z)	Wuchs- höhe cm	Roh- asche %	Roh- fett %	Roh- protein %	Roh- faser %	NfE %	TM- Gehalt %	CH <sub>4</sub> - Ausbeute L (kg oTM) <sup>-1</sup>	FM- Ertrag t ha <sup>-1</sup>	TM- Ertrag t ha <sup>-1</sup>	CH <sub>4</sub> - Ertrag m <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup>	N- Entzug kg ha <sup>-1</sup>	
'Minimal'	Grünschnitt- roggen	Mais	175	4,2	2,3	7,9	19,6	66,0	31,7	304	46,5	15,3	4.490	178	
		Sonnenblume	110	10,4	18,4	9,6	26,2	35,4	33,7	310	32,1	10,7	2.989	162	
		Futterhirse	178	4,5	1,5	7,6	22,0	64,4	28,1	241	46,6	13,0	2.994	152	
		Mittel	154	6,3	7,4	8,4	22,6	55,3	31,2	285	41,8	13,0	3.491	164	
	Welsches Weidelgras	Mais	178	4,2	2,6	7,1	18,9	67,3	33,4	307	47,6	16,4	4.864	168	
		Sonnenblume	111	10,0	18,3	10,0	26,3	35,5	30,3	309	30,0	9,2	2.559	145	
		Futterhirse	170	4,2	1,5	7,0	23,1	64,3	28,3	241	43,7	12,3	2.842	129	
		Mittel	153	6,1	7,4	8,0	22,8	55,7	30,7	286	40,4	12,6	3.422	147	
	Keine (W-Roggen Roundup)	Mais	191	3,9	2,6	7,8	18,9	66,8	32,3	305	62,3	20,4	6.016	249	
		Sonnenblume	130	9,9	17,3	8,7	27,6	36,5	30,4	306	29,8	9,1	2.510	127	
		Futterhirse	193	4,4	1,7	6,5	23,4	64,1	28,6	242	53,3	15,1	3.496	153	
		Mittel	172	6,1	7,2	7,7	23,3	55,8	30,4	284	48,5	14,9	4.007	176	
		Mittel		159	6,2	7,3	8,0	22,9	55,6	30,8	285	43,6	13,5	3.640	163
	'Optimal'	Grünschnitt- roggen	Mais	242	4,1	2,5	5,7	22,1	65,5	32,1	305	69,1	22,3	6.551	206
			Sonnenblume	138	9,8	17,8	8,1	28,1	36,2	31,0	307	37,4	11,2	3.094	145
Futterhirse			216	4,3	1,6	5,7	22,4	66,0	27,9	241	61,6	17,1	3.946	156	
Mittel			199	6,1	7,3	6,5	24,2	55,9	30,3	285	56,0	16,9	4.530	169	
Welsches Weidelgras		Mais	247	4,0	2,3	5,7	21,6	66,5	32,2	305	73,6	23,9	7.004	217	
		Sonnenblume	141	9,9	18,2	8,7	26,5	36,7	29,2	309	38,2	10,6	2.968	148	
		Futterhirse	223	4,3	1,6	5,6	22,6	66,0	28,2	241	61,2	17,3	3.982	153	
		Mittel	204	6,0	7,4	6,7	23,6	56,4	29,9	285	57,7	17,3	4.651	173	
Keine (W-Roggen Roundup)		Mais	240	4,0	2,3	6,2	21,2	66,3	31,0	306	82,4	25,6	7.529	254	
		Sonnenblume	152	10,1	16,4	7,9	28,7	36,9	30,9	304	40,3	11,5	3.130	148	
		Futterhirse	231	4,6	1,7	6,1	23,7	64,1	28,0	242	67,4	18,8	4.339	184	
		Mittel	208	6,2	6,8	6,7	24,5	55,8	30,0	284	63,4	18,6	4.999	195	
		Mittel		203	6,1	7,2	6,6	24,1	56,0	30,1	284	59,0	17,6	4.727	179
		GD ( $P < 0,05$ ) <sup>†</sup>		6	0,2	-	0,4	0,7	-	-	-	4,1	1,4	378	-
		GD ( $P < 0,05$ ) <sup>‡</sup>		3	-	0,4	-	0,6	-	-	1	1,5	0,4	117	7

Tabelle 4.8. Einfluss von Wasserregime und Erstfrucht auf Wuchshöhe, Nährstoffgehalte (i.d. TM), TM-Gehalt, Methanausbeute, Erträge und N-Entzug der Zweitfrüchte im Mittel der Jahre 2006 und 2007 am Standort Müncheberg.

Wasser- regime (W)	Erstfrucht (E)	Zweitfrucht (Z)	Wuchs- höhe cm	Roh- asche %	Roh- fett %	Roh- protein %	Roh- faser %	NfE %	TM- Gehalt %	CH <sub>4</sub> - Ausbeute L (kg oTM) <sup>-1</sup>	FM- Ertrag t ha <sup>-1</sup>	TM- Ertrag t ha <sup>-1</sup>	CH <sub>4</sub> - Ertrag m <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup>	N- Entzug kg ha <sup>-1</sup>
<u>Signifikanz der F-Werte aus der Varianzanalyse</u>														
	J		**	*	NS	*	**	**	**	**	**	**	**	**
	W		**	NS	NS	**	**	NS	NS	NS	**	**	**	NS
	W x J		**	NS	NS	**	NS	NS	NS	NS	**	**	**	NS
	E		**	NS	NS	NS	*	NS	NS	NS	**	**	**	**
	E x W		**	**	NS	**	NS	NS	NS	NS	*	*	*	**
	E x J		**	NS	*	NS	*	NS	NS	*	**	**	**	**
	E x W x J		**	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	*	*	*	NS
	Z		**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**
	Z x W		**	NS	NS	NS	*	NS	NS	NS	**	**	**	NS
	Z x E		NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	**	**	**	**
	Z x E x W		NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
	Z x J		NS	NS	*	*	NS	NS	**	**	**	**	**	*
	Z x W x J		**	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
	Z x E x J		NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	*	NS	NS	NS
	Z x E x W x J		NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	*	NS	NS	NS

† Grenzdifferenz für Mittelwertvergleiche zwischen Wasserregimen innerhalb eines Merkmals.

‡ Grenzdifferenz für Mittelwertvergleiche von Wasserregime x Erstfrucht-Kombinationen innerhalb eines Merkmals. \*, \*\* Signifikant für  $P < 0,05$  und  $P < 0,01$ ; NS = nicht signifikant für  $P < 0,05$ .

NfE = Stickstofffreie Extraktstoffe.

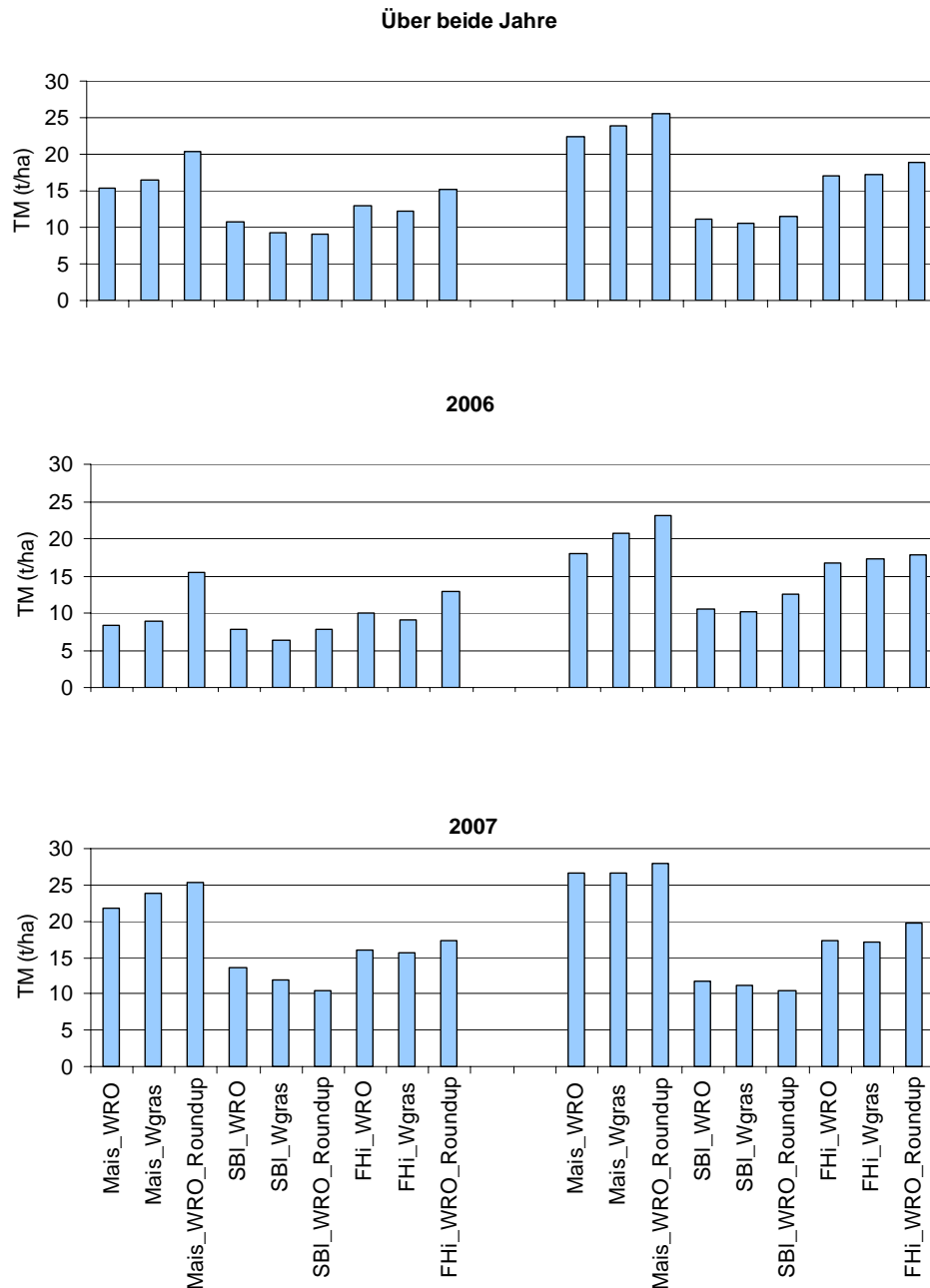


Abbildung 4.17. Trockenmasseertrag der Zweitfrüchte Mais, Sonnenblume und Futterhirse mit (links) und ohne Zusatzbewässerung (rechts) in Abhängigkeit von der Vorfrucht. Abkürzungen: SBI, Sonnenblume; FHi, Futterhirse; WRO, Winterroggen; Wgras, Welsches Weidelgras; WRO\_Roundup, zu Vegetationsbeginn mit Roundup behandelter Winterroggen.

Die Methanerträge betragen im Mittel der Versuchsjahre  $6.076 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$  für Mais,  $2.875 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$  für Sonnenblume und  $3.600 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$  für Futterhirse. Die Methanerträge korrelierten mit den jeweiligen TM-Erträgen. Mais und Sonnenblumen erzielten Methanausbeuten von über  $300 \text{ L CH}_4 \text{ kg}^{-1} \text{ oTM}$ , die Methanausbeute der Futterhirse war um 20% niedriger.

Im Versuchsmittel entzog der Mais 212 kg N ha<sup>-1</sup>, Sonnenblume und Futterhirse dagegen nur ca. 150 kg N ha<sup>-1</sup>. Die N-Entzüge variierten bei Mais von 122 bis 275 kg ha<sup>-1</sup>, bei Sonnenblume von 106 bis 200 kg ha<sup>-1</sup> und bei Futterhirse von 121 bis 199 kg ha<sup>-1</sup>. Die höheren Erträge im Jahr 2007 führten auch zu höheren N-Entzügen von durchschnittlich 40% bei Mais, 28% bei Sonnenblume und 14% bei Futterhirse.

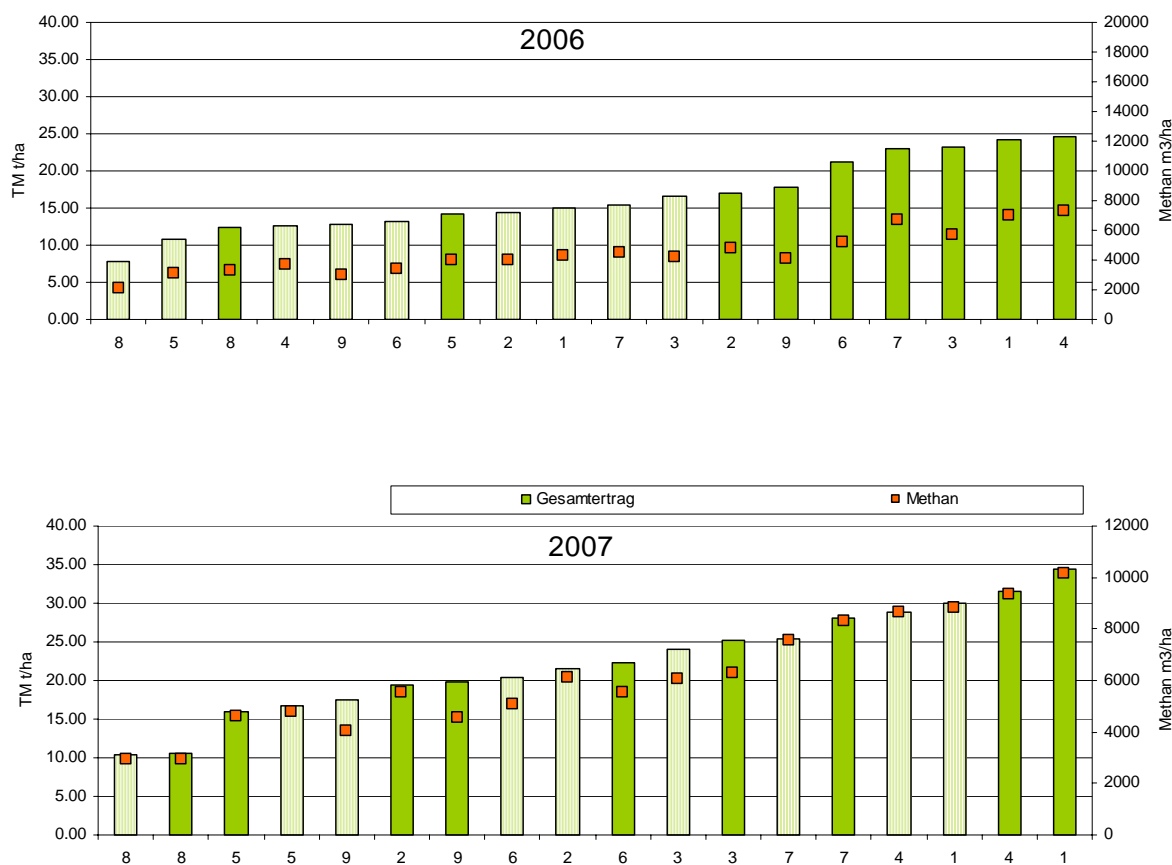
Im Mittel der Versuchsjahre und Fruchtarten erhöhte die 'optimale' Bewässerung die Wuchshöhe um 28%, den Rohfasergehalt um 5% und die Trockenmasseerträge und Methanausbeuten um 30%. Der Rohproteingehalt war bei 'optimaler' Bewässerung signifikant niedriger als bei 'minimaler' Bewässerung (6,5 versus 9%). Der Einfluss der Zusatzbewässerung auf die Trockenmassegehalte, andere Pflanzeninhaltsstoffe und Stickstoffentzüge war nicht signifikant. Bezogen auf die Fruchtarten erhöhte die Zusatzbewässerung im Mittel der Jahre die TM-Erträge bei Mais um 37%, bei Sonnenblumen um 15% und bei Futterhirse um 31%. In der Variante 'Minimal' erzielte Mais durchschnittlich 80% höhere Erträge als Sonnenblume und 29% höhere Erträge als Futterhirse. In der Variante 'Optimal' lagen die Maiserträge um 115% über denen von Sonnenblume und 35% über denen von Futterhirse. Die Bewässerung wirkte in den beiden Versuchsjahren sehr unterschiedlich. Der Sommer 2006 war sehr trocken, insbesondere in den Monaten Mai bis Juli; der Sommer 2007 war vergleichsweise feucht. Dementsprechend groß war 2006 der Bewässerungseffekt. Die 'optimale' Bewässerung führte bei Mais, Sonnenblumen und Futterhirse zu signifikant höheren TM-Mehrerträgen von 89, 50 und 63%. Im Jahr 2007 war die Bewässerungswirkung vergleichsweise gering und nicht signifikant: TM-Mehrerträge von 14% bei Mais und 11% bei Futterhirse, kein Mehrertrag bei Sonnenblumen.

Die Methanerträge korrelierten eng mit den TM-Erträgen. Die Methanausbeuten waren fruchtartspezifisch und wurden weder im Mittel der Jahre noch in den Einzeljahren signifikant durch die Bewässerung beeinflusst. Die Wirkung der 'optimalen' Bewässerung auf den Ertrag der Zweitfrüchte wurde wesentlich von der Erstfrucht bestimmt. Im Mittel der Jahre war der TM-Ertrag von Mais und Futterhirse in Hauptfruchtstellung, d.h. nach abgespritztem Winterroggen, höher als der in Zweitfruchtstellung (nach Grünschnittroggen), bei Mais im Mittel 3,5 t ha<sup>-1</sup>, bei Futterhirse 2,0 t kg N ha<sup>-1</sup>. Die Überlegenheit von Mais und Futterhirse in Hauptfruchtstellung war bei 'minimaler' Bewässerung geringfügig höher (+4,6 bzw. +2,5 t ha<sup>-1</sup>) als bei 'optimaler' Bewässerung (+2,5 bzw. +1,6 t ha<sup>-1</sup>).

Der Einfluss der Vorfrucht auf den TM-Ertrag der Zweitfrucht war 2006 sehr ausgeprägt. Hier erzielte Mais in Hauptfruchtstellung bei 'minimaler' Bewässerung im Vergleich zum Mittel der Erstfrüchte einen um  $6,9 \text{ t ha}^{-1}$  höheren Ertrag, bei Futterhirse betrug der Ertragsunterschied noch  $3,4 \text{ t ha}^{-1}$ . Bei 'optimaler' Bewässerung war der Einfluss der Erstfrucht auf den Ertrag der Zweitfrucht deutlich niedriger: um  $3,7$  bzw.  $0,8 \text{ t ha}^{-1}$  geringere Erträge bei Mais und Futterhirse. Im Jahr 2007 hatte die Erstfrucht nur einen geringen Einfluss auf die Zweitfrucht. Die Abbildung 4.18 zeigt den Gesamtertrag an Trockenmasse und Methan der 2006 und 2007 geprüften Anbausysteme sortiert nach dem TM-Ertrag. Im Jahr 2006 reichten die Gesamterträge von  $7,8 \text{ t}$  bis  $24,7 \text{ t ha}^{-1}$ . Mais als Hauptfrucht erzielte bei 'minimaler' Bewässerung  $15,5 \text{ t ha}^{-1}$ , bei 'optimaler' Bewässerung  $23,0 \text{ t ha}^{-1}$ . Hauptfruchtmais wurde somit von keinem Zweikulturnutzungssystem wesentlich übertroffen. Im Jahr 2007 war das Ertragsniveau insgesamt deutlich höher. Die Spanne reichte von  $10,4$  bis  $34,5 \text{ t TM ha}^{-1}$ . Vor allem die Hohertragssysteme (in der Abbildung rechts) erreichten bis zu  $10 \text{ t ha}^{-1}$  höhere Erträge. Die höheren Erträge 2007 resultierten sowohl aus leicht höheren Erträgen der Erstfrüchte, vor allem aber aus deutlich höheren Erträgen der Zweitfrüchte. Der Mais als Hauptfrucht erzielte bei 'minimaler' Bewässerung  $25,4 \text{ t ha}^{-1}$ , bei 'optimaler' Bewässerung  $28,0 \text{ t ha}^{-1}$  und wurde nur von den Zweikulturnutzungssystemen Grünschnittroggen/Mais und Welsches Weidelgras/Mais um  $3$  bis  $4 \text{ t ha}^{-1}$  übertroffen.

Ein auffallender Unterschied zwischen 2006 und 2007 war der Einfluss der Bewässerung. Mit Ausnahme der Anbausysteme mit Sonnenblume erzielten 2006 alle zusätzlich bewässerten Varianten höhere Erträge als die nicht zusätzlich bewässerten Varianten. Im Jahr 2007 war der Einfluss der Bewässerung dagegen gering. Die bewässerten Varianten der jeweiligen Systeme befinden sich, bezogen auf den TM-Ertrag, mehr oder weniger in der Nachbarschaft ihrer unbewässerten Varianten. In einigen Fällen erzielten die 'minimal' bewässerten Varianten sogar etwas höhere oder ähnlich hohe Erträge wie die 'optimal' bewässerten Varianten (z.B. Systeme 2, 5 und 8). In beiden Jahren folgten die Methanerträge mehr oder weniger den TM-Erträgen. Die Ergebnisse für den Standort Müncheberg zeigen, dass das Wasser der begrenzende Produktionsfaktor ist. Wassermangel wird hier verursacht durch Böden mit einem niedrigen Wasserspeichervermögen und geringe Jahresniederschläge. Der Wassermangel wird regelmäßig verschärft durch eine ausgeprägte Fröhsommertrockenheit. Traditionell wird am Standort Müncheberg lediglich eine Frucht pro Jahr angebaut. Diese nutzt die Winterfeuchte, wird in einer relativ feuchten Jahreszeit sicher etabliert und die gut entwickelten Bestände überstehen die Fröhsommertrockenheit ohne größere Ertragseinbußen. Auch Zweikulturnutzungssysteme nutzen die Winterfeuchte optimal durch den Anbau der Winterfrucht. Nach ihrer

Ernte ist in den flachgründigen Böden das Bodenwasser jedoch häufig erschöpft, was eine rasche Etablierung von Zweitfruchtbeständen erschweren kann. Dieses Problem wird durch eine Frühsommertrockenheit verschärft. Entwickeln sich die Zweitfruchtbestände nur zögerlich, geht wertvolle Wachstumszeit verloren. Das Ziel, mit Zweikulturnutzungssystemen maximale Biomasseerträge zu erzielen, wird dann verfehlt.



1 Mais_WRO m B	6 FHi_Wgras
2 SBI_WRO	6 FHi_Wgras m B
2 SBI_WRO m B	7 Mais_WRO_Roundup
3 FHi_WRO	7 Mais_WRO_Roundup m B
3 FHi_WRO m B	8 SBI_WRO_Roundup
4 Mais_Wgras	8 SBI_WRO_Roundup m B
4 Mais_Wgras m B	9 FHi_WRO_Roundup
5 SBI_Wgras	9 FHi_WRO_Roundup m B

Abbildung 4.18. Gesamtertrag an Trockenmasse und Methan bei Hauptfruchtanbau und Zweikulturnutzungssystem ohne (gestreift) und mit (einfarbig) Bewässerung in den Jahren 2006 und 2007 nach TM-Ertrag sortiert. Abkürzungen: SBI, Sonnenblume; FHi, Futterhirse; WRO, Winterroggen; Wgras, Welsches Weidelgras; WRO\_Roundup, im April mit Roundup behandelter Winterroggen.

Vor diesem Hintergrund ist der Standort Müncheberg ideal geeignet, um zu prüfen, ob Zweikulturnutzungssysteme mit dem Hauptfruchtanbau auf einem Trockenstandort konkurrieren können, und welche Rolle unter diesen Bedingungen die Bewässerung spielen kann. Die Versuchsjahre 2006 und 2007 unterschieden sich deutlich. Der Winter 2005/2006 war kalt, der Sommer 2006 war sehr trocken und warm, was insbesondere bei den Zweitfrüchten erheblichen Trockenstress verursachte. Die Situation entsprach in etwa den oben beschriebenen standorttypischen Bedingungen. Der Winter 2006/2007 war überdurchschnittlich warm, der Sommer 2007 ungewöhnlich feucht. Die Wasserversorgung für die Zweitfrüchte war fast durchweg ausreichend. Zwar fiel von Ende März bis Anfang Mai sechs Wochen lang kein Regen, die Trockenperiode hatte jedoch keinen nennenswerten Einfluss auf den Ertrag von Erst- und Zweitfrüchten. Die typischen Begrenzungen des Standorts kamen im Versuchsjahr 2007 nicht zum Tragen. Aus diesen Tatsachen erklärt sich, dass das Ertragsniveau 2006 sowohl der Winter- als auch der Sommerfrüchte deutlich unter dem von 2007 lag. Im Jahr 2006 führte die Bewässerung zu deutlichen Mehrerträgen, 2007 dagegen nur geringfügig oder gar nicht. Im Jahr 2006 wirkte sich der im Vergleich zum abgetöteten Winterroggen höhere Wasserverbrauch der Erstfrüchte deutlich auf die Erträge der Zweitfrüchte aus, im Jahr 2007 dagegen nicht.

Im Jahr 2006 erzielte **Mais** nach dem abgetöteten Winterroggen in Hauptfruchtstellung die höchsten TM-Erträge. In dieser Variante stand dem Mais im Trockenjahr 2006 deutlich mehr Bodenwasser zur Verfügung als in den Varianten mit Zweikulturnutzung. Dies war besonders offensichtlich in der Phase der Jugendentwicklung, in der Variante 'Minimal' deutlicher als in der Variante 'Optimal'. Die negative Wirkung des Wassermangels bei Zweikulturnutzung wurde durch das Zusatzwasser zwar deutlich abgemildert, aber auch mit Bewässerung erzielte Mais in Hauptfruchtstellung die höchsten Erträge. Neben der besseren Wasserversorgung spielt in dieser Variante auch die um vier Wochen längere Wachstumszeit eine wesentliche Rolle. Die feucht-warme Witterung im Jahr 2007 erlaubte Höchsterträge bei hohen Trockenmassegehalten. Im Gegensatz zum Jahr 2006 brachte der Hauptfruchtmais nur geringfügig höhere Erträge als der Zweitfruchtmais. Die Gründe hierfür liegen zum einen in der besseren Wasserversorgung im Zweikulturnutzungssystem und zum anderen in der Tatsache, dass der Hauptfruchtmais die um 26 Tage längere Wachstumszeit nicht nutzen konnte weil es erst drei Wochen nach der Aussaat regnete.

Auch der **Futterhirse** stand in Hauptfruchtstellung 2006 deutlich mehr Wasser zur Verfügung als in Zweitfruchtstellung. Dies führte in der Variante 'Minimal' ebenso wie bei Mais zu deutlich höheren TM-Erträgen. Anders als Mais erzielte



Futterhirse bei 'optimaler' Bewässerung und Frühsaat keine höheren Erträge. Der wesentliche Grund liegt vermutlich darin, dass die früh gesäte Futterhirse die um etwa drei Wochen längere Vegetationszeit nicht in Ertrag umsetzen konnte. Sie lief wegen der Vliesabdeckung zwar zügig auf, ihr Wachstum stagnierte jedoch infolge der kühlen Witterung zwischen Ende Mai und Anfang Juni. Danach entwickelte sie sich parallel zur Zweitfruchtfutterhirse. Die Erträge der Zweitfruchtfutterhirse lagen 2006 sowohl bei 'optimaler' als auch 'minimaler' Bewässerung ähnlich hoch wie die von Mais. Im Jahr 2007 erzielte Futterhirse höhere Erträge als 2006. Ebenso wie der Hauptfruchtmais konnte auch die Hauptfruchthirse die um zwei Wochen längere Wachstumszeit nicht in höhere TM-Erträge umsetzen. Zusatzbewässerung steigerte die Erträge nicht, was darauf hindeutet, dass im Jahr 2007 nicht das Wasser, sondern die für Futterhirse zeitweise zu kühle Witterung der ertragslimitierende Faktor war. Auch im Jahr 2007 bestätigte die Futterhirse, dass sie trotz später Saat (Ende Mai) noch akzeptable Erträge erzielen kann.

Die Erträge der **Sonnenblume** lagen 2006 in allen Varianten mehr oder weniger deutlich unter denen von Mais und Futterhirse. Im Gegensatz zu Mais konnte die Sonnenblume das höhere Wasserangebot in Hauptfruchtstellung bei 'minimaler' Bewässerung nicht in Ertrag umsetzen. Die Gründe dafür sind unklar. Wie Mais erzielte Sonnenblume jedoch unter Bewässerung in Hauptfruchtstellung die höchsten Erträge. Die Gründe dürften (ebenso wie für Mais) in der um drei Wochen längeren Vegetationszeit liegen. Auch die Sonnenblume erzielte im Jahr 2007 höhere Erträge als im Jahr 2006. Wie 2006 reagierte sie kaum auf Bewässerung und Saattermin.

Weder im Trockenjahr 2006 noch im relativ feuchten Jahr 2007 wurden die Erträge von Hauptfruchtmais von den Zweikulturnutzungssystemen übertroffen. Im Gegenteil: Die Zweikulturnutzungssysteme erzielten zum Teil erheblich niedrigere Erträge. Dies gilt gleichermaßen für die 'minimal' und 'optimal' bewässerten Varianten.

Die bisherigen Ergebnisse bestätigen die Einschätzung, dass das Zweikulturnutzungssystem am Standort Müncheberg aus ökonomischer Sicht an Hauptfruchtmais gemessen werden muss. Trotz gleicher bzw. geringfügig niedriger Erträge gibt es dennoch Gründe, Biomasse in Zweikulturnutzungssystemen zu produzieren: Erweiterung der Biodiversität, Verteilung des Ertragsrisikos auf mehrere Fruchtarten, Entzerrung von Arbeitsspitzen bei der Ernte und die Erweiterung von Zeiträumen und Flächen für die Ausbringung von Gärresten.

Auf der Grundlage der zweijährigen Versuchsergebnisse lassen sich folgende Thesen formulieren:

1. Der Anbau von Mais in Hauptfruchtstellung ist am Standort Müncheberg dem Zweikulturnutzungssystem (Erstfrucht plus Mais) zumindest ebenbürtig. Hauptfruchtmais liefert unabhängig von der Witterung die sichereren Erträge.
2. Zweikulturnutzungssysteme (besonders ohne Mais) sind witterungsanfälliger als der Anbau einer Hauptfrucht und somit riskanter.
3. Grünschnittroggen erzielt (insbesondere in warmen und feuchten Wintern) höhere TM-Erträge als Weidelgras in einer um vier Wochen kürzeren Zeit. In Zweikulturnutzungssystemen ist die Bedeutung der Erstfrucht umso geringer, je höher der Ertrag der Zweitfrucht ist, sei es durch ausreichende Niederschläge oder Zusatzbewässerung.
4. Weder mit noch ohne Zusatzbewässerung kann die Futterhirse in Hauptfruchtstellung die längere Wachstumszeit für einen höheren Ertrag nutzen. In Hauptfrucht- bzw. früher Zweitfruchtstellung ist Futterhirse keine Alternative zu Mais. In später Zweitfruchtstellung ist Futterhirse unter Trockenbedingungen dem Mais ebenbürtig, bei ausreichender Wasserversorgung nur dann, wenn es für die Futterhirse auch warm genug ist.
5. Das Ertragspotential der Sonnenblume ist niedriger als das von Mais und Futterhirse, zumindest für die im Versuch geprüfte Sorte. Gute Wachstumsbedingungen (z.B. gute Wasserversorgung durch hohe Niederschläge bzw. Bewässerung) werden kaum in Mehrertrag umgesetzt. In Zweikulturnutzungssystemen führt der Sonnenblumenanbau immer zu relativ niedrigen Gesamterträgen. Allerdings liefert ihr Anbau sichere Erträge bei geringen Aufwendungen, weshalb sie eine wichtige Rolle bei der Erweiterung von Fruchtfolgen und bei der Minimierung des Ertragsrisikos spielen kann.

#### **4.5 Zusammenfassende Bewertung (Dr. S. Schittenhelm, JKI)**

Die dem Zweikulturnutzungssystem zugrundeliegende Idee besteht darin, wenig produktive oder unproduktive Phasen, wie sie bei zu früher Aussaat von wärmebedürftigen Pflanzenarten bzw. bei Brachezeiten gegeben sind, zu vermeiden. Unter den einheimischen Kulturen besitzt die C4-Pflanze Mais während der warmen Jahreszeit das mit Abstand höchste Leistungspotenzial. Wegen ihrer hohen Temperaturansprüche haben C4-Pflanzen insbesondere im nördlichen Deutschland von Mitte April bis Mitte Juni keine optimalen Wachstumsbedingungen. Hingegen lässt sich Biomasse in dieser Zeit auch bei kühler Witterung mit C3-Pflanzen produzieren. Da wegen der Biogasnutzung der Ganzpflanzen die Ernte weit vor der Vollreife stattfindet, können problemlos C4-Pflanzen wie Mais und Futterhirse folgen. Anders ist die Situation in wärmeren Regionen Deutschlands wie beispielsweise dem Rheingraben, wo der Mais von Beginn an optimale Wachstumsbedingungen vorfindet und sein Ertragspotenzial weitgehend realisieren kann. Hier kommen die oben genannten Vorteile des Zweikulturnutzungssystems weniger zum Tragen. Inwieweit an einem solchen wärmeren Standort das Zweikulturnutzungssystem mit dem Hauptfruchtanbau (insbesondere Hauptfruchtmais) in Abhängigkeit von der Wasserversorgung konkurrieren kann soll im Anschlußverbundprojekt 'EVA 2' untersucht werden.

Im ersten Versuchsdurchgang erzielten die Erstkulturen Grünschnittroggen und Welsches Weidelgras in Braunschweig einen Trockenmasseertrag von 5,2 bzw. 4,5 t ha<sup>-1</sup>, in Müncheberg von 6,4 bzw. 4,0 t ha<sup>-1</sup> und in Forchheim von 6,3 bzw. 5,4 t ha<sup>-1</sup>. Die entsprechenden TM-Erträge von Grünschnittroggen und Welschem Weidelgras im zweiten Versuchsdurchgang waren 7,3 bzw. 4,9 t ha<sup>-1</sup> in Braunschweig, 7,8 bzw. 4,8 t ha<sup>-1</sup> in Müncheberg und 4,0 bzw. 2,6 t ha<sup>-1</sup> in Forchheim. Im Mittel der zwei Jahre und drei Standorte war der Grünschnittroggen dem Welschen Weidelgras um 1,8 t TM ha<sup>-1</sup> (43%) überlegen. Die Ergebnisse für Winterraps, welcher lediglich am Standort Forchheim geprüft wurde, fielen in den beiden Jahren sehr unterschiedlich aus. Im Jahr 2006 erbrachte Winterraps einen geringeren und im Jahr 2007 einen höheren Trockenmasseertrag als Grünschnittroggen und Welsches Weidelgras.

Nachdem die Ergebnisse der Bewässerung beim Zweikulturnutzungssystem unter den Punkten 4.2 bis 4.4 für die drei Versuchsstandorte separat dargestellt wurden, werden diese Ergebnisse nachfolgend vergleichend diskutiert und bewertet. Der Vollständigkeit und Klarheit halber wird dabei zusätzlich zum Trockenmasseertrag auch der Methanhektarertrag ausgewiesen, wengleich zwischen diesen beiden Größen ein enger Zusammenhang besteht.

Aufgrund der stark unterschiedlichen Witterung während der Hauptwachstumszeit unterschieden sich die an den drei Versuchsstandorten Braunschweig, Forchheim und Müncheberg in den Sommermonaten der Jahre 2006 und 2007 erforderlichen Zusatzwassermengen ganz erheblich (Tabelle 4.9). In der Variante 'Optimal' wurden im Trockenjahr 2006 zwischen 149 und 224 mm Zusatzwasser ausgebracht, wohingegen die entsprechende Wassermenge im Jahr 2007 lediglich 45 bis 150 mm betrug. In Forchheim musste im Jahr 2007 wesentlich mehr Beregnungswasser eingesetzt werden als in Braunschweig und Müncheberg. Das ist darauf zurückzuführen, dass die Regenmengen in den Hauptwachstumsmonaten Juli, August und September bei vergleichsweise höheren Temperaturen in Forchheim deutlich geringer waren als in Braunschweig und Müncheberg (s. Tabelle 1.1). Während im Jahr 2007 an keinem der drei Standorte eine Notfallbewässerung zur Kultursicherung erforderlich war, mussten für diesen Zweck im Jahr 2006 zwischen 21 und 90 mm Wasser eingesetzt werden. Die Zusatzwassermenge bei 'minimaler' Bewässerung fiel mit 90 mm in Forchheim 2006 recht üppig aus.

Nachfolgend werden zunächst der Hauptfruchtanbau und das Zweikulturnutzungssystem für die Standorte Braunschweig und Müncheberg verglichen. Die Trockenmasse- und Methanerträge der Versuchsdurchgänge 2005/2006 und 2006/2007 sind in den Abbildungen 4.19 bzw. 4.20 dargestellt. Die Trockenmasseerträge der jährlich zwei Ernten beim Zweikulturnutzungssystem waren in der Regel höher als die der einen Ernte beim Hauptfruchtanbau (Tabelle 4.10). Allerdings war bei 'minimaler' Bewässerung in Müncheberg der TM-Ertrag von Mais im Hauptfruchtanbau um  $1,7 \text{ t ha}^{-1}$  höher als die Summe der TM-Erträge von Winterzwischenfrüchten plus Mais. Der Mehrertrag bei Zweikulturnutzung betrug in Braunschweig durchschnittlich  $4,9 \text{ t ha}^{-1}$  (34%) und in Müncheberg durchschnittlich  $3,9 \text{ t ha}^{-1}$  (29%). Besonders gering war der Mehrertrag von zwei Ernten bei 'minimaler' Bewässerung mit nur  $1,5 \text{ t ha}^{-1}$  im Trockenjahr 2006 in Müncheberg. Aber auch bei 'optimaler' Bewässerung war der Abstand zum Hauptfruchtanbau mit  $3,0 \text{ t ha}^{-1}$  nur geringfügig größer.

Tabelle 4.9. Eingesetzte Zusatzwassermengen in Abhängigkeit von Standort, Jahr, Anbausystem und Wasserregime.

Standort	Anbausystem	2006		2007	
		'Minimal'	'Optimal'	'Minimal'	'Optimal'
Braunschweig	Hauptfruchtanbau	21 mm	Mais, Futterhirse: 169 mm Sonnenbl. : 149 mm	-	Einheitlich: 58 mm
Braunschweig	Zweikulturnutzungssystem	21 mm	Mais, Futterhirse: 169 mm Sonnenbl.: 149 mm	-	Einheitlich: 58 mm
Müncheberg	Hauptfruchtanbau	39 mm	Mais, Sonnenbl.: 224 mm Futterhirse: 189 mm	-	Futterhirse: 55 mm Mais, Sonnenbl.: 75 mm
Müncheberg	Zweikulturnutzungssystem	39 mm	Einheitlich: 219 mm	-	Futterhirse: 45 mm Sonnenbl.: 85 mm Mais: 90 mm
Forchheim	Zweikulturnutzungssystem	90 mm	Einheitlich: 200 mm	-	Einheitlich: 150 mm

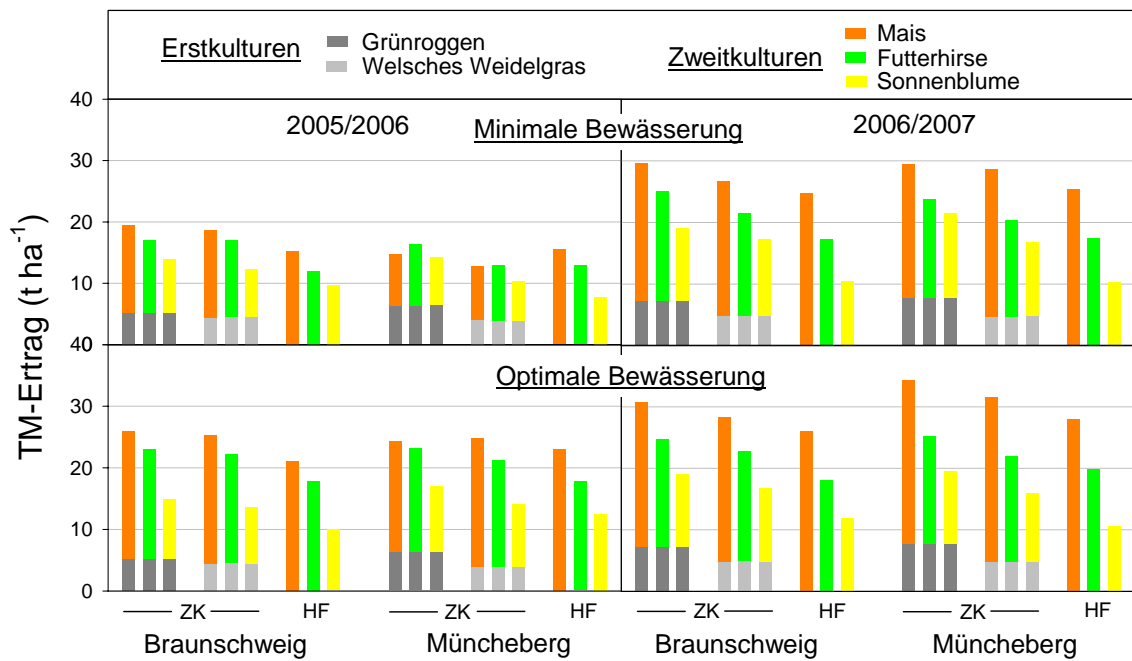


Abbildung 4.19. Trockenmassertrag bei Zweikulturnutzung (ZK) und Hauptfruchtanbau (HF) in Abhängigkeit vom Bewässerungsregime in den Vegetationsperioden 2005/2006 sowie 2006/2007 in Braunschweig und Münchenberg.

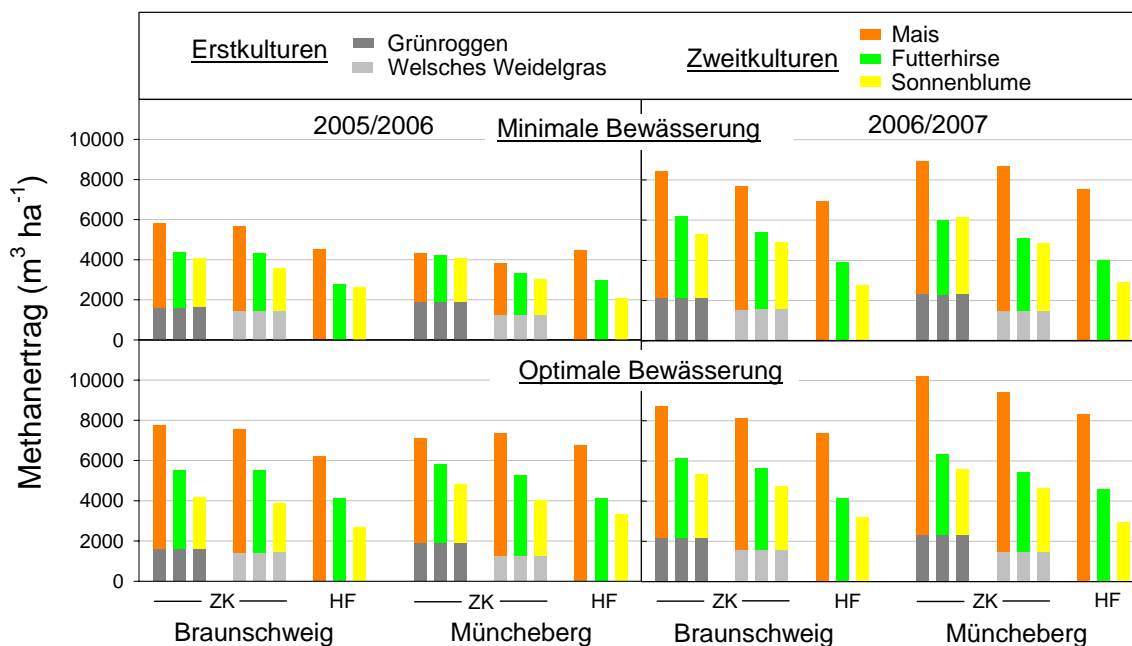


Abbildung 4.20. Methanertrag bei Zweikulturnutzung (ZK) und Hauptfruchtanbau (HF) in Abhängigkeit vom Bewässerungsregime in den Vegetationsperioden 2005/2006 sowie 2006/2007 in Braunschweig und Münchenberg.

Tabelle 4.10. Absolute und prozentuale (in Klammern) Mehr- oder Mindererträge an Trockenmasse bei Zweikulturnutzung (gemittelt über die Erstfrüchte) im Vergleich zum Hauptfruchtanbau in Braunschweig und Müncheberg.

Versuchsstandort		2005/2006		2006/2007	
		'Minimal'	'Optimal'	'Minimal'	'Optimal'
t ha <sup>-1</sup> (%)					
Braunschweig	Mais	3,8 (25)	4,5 (21)	3,5 (14)	3,6 (14)
	Sonnenblume	3,4 (35)	4,3 (43)	7,6 (73)	6,2 (52)
	Futterhirse	5,0 (42)	4,7 (26)	6,1 (36)	5,6 (31)
	<b>Mittel</b>	<b>4,1 (34)</b>	<b>4,5 (30)</b>	<b>5,8 (41)</b>	<b>5,1 (32)</b>
Müncheberg	Mais	-1,7 (-11)	1,5 (7)	4,0 (16)	5,0 (18)
	Sonnenblume	4,5 (58)	3,1 (24)	8,8 (85)	7,3 (69)
	Futterhirse	1,8 (14)	4,5 (25)	4,7 (27)	3,8 (19)
	<b>Mittel</b>	<b>1,5 (20)</b>	<b>3,0 (19)</b>	<b>5,8 (43)</b>	<b>5,4 (35)</b>

Im Trockenjahr 2006 waren die bewässerungsbedingten Mehrerträge an Trockenmasse und Methan bei der Zweikulturnutzung höher als beim Hauptfruchtanbau und in Müncheberg wiederum höher als in Braunschweig (Tabelle 4.11 und 4.12). Mit einem Trockenmassemehrertrag von 7,2 t ha<sup>-1</sup> (86%) und einem CH<sub>4</sub>-Mehrertrag von 1.930 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> (88%) profitierte das Zweikulturnutzungssystem in Müncheberg 2006 am stärksten von der Zusatzbewässerung. Dieses Ergebnis ist nicht unerwartet, weil aufgrund der permanenten Begrünung das Zweikulturnutzungssystem das Bodenwasser stärker beansprucht als der Hauptfruchtanbau. In dem niederschlagsreichen Jahr 2007 fielen die Mehrerträge durch Zusatzbewässerung an beiden Standorten deutlich geringer aus. Im Jahr 2007 war lediglich am warmen Standort Forchheim ein deutlicher bewässerungsbedingter Ertragszuwachs von 4,4 t TM ha<sup>-1</sup> und 1.232 m<sup>3</sup> Methan ha<sup>-1</sup> zu verzeichnen.

Tabelle 4.11. Absolute und prozentuale (in Klammern) Mehrerträge an Trockenmasse durch Zusatzbewässerung ('optimal' versus 'minimal') in Braunschweig, Müncheberg und Forchheim.

Versuchsstandort	2006		2007	
	Hauptfruchtanbau	Zweikulturnutzung	Hauptfruchtanbau	Zweikulturnutzung
t ha <sup>-1</sup> (%)				
Braunschweig	4,0 (32)	4,4 (38)	1,2 (7)	0,5 (3)
Müncheberg	5,7 (48)	7,2 (86)	1,8 (10)	1,3 (8)
Forchheim		1,5 (12)		4,4 (31)

Tabelle 4.12. Absolute und prozentuale (in Klammern) Mehrerträge an Methan durch Zusatzbewässerung ('optimal' versus 'minimal') in Braunschweig, Müncheberg und Forchheim.

Versuchsstandort	2006		2007	
	Hauptfruchtanbau	Zweikulturnutzung	Hauptfruchtanbau	Zweikulturnutzung
m <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup> (%)				
Braunschweig	1.025 (31)	1.104 (36)	328 (7)	127 (3)
Müncheberg	1.556 (49)	1.930 (88)	427 (9)	339 (7)
Forchheim		365 (12)		1.232 (34)

Die drei Fruchtarten unterschieden sich deutlich in der Effizienz mit der sie das zusätzliche Wasser in Ertrag umsetzten (Tabelle 4.13). Die diesbezüglich höchste Effizienz hatte Mais mit durchschnittlich 4,0 und 3,5 kg TM m<sup>-3</sup> im Jahr 2006 bzw. 2007, gefolgt von Futterhirse (3,4 und 2,6 kg TM m<sup>-3</sup>) und mit deutlichem Abstand Sonnenblume (1,1 und 0,4 kg TM m<sup>-3</sup>).

Tabelle 4.13. Trockenmassemehrertrag je Kubikmeter Zusatzwasser für Mais, Sonnenblume und Futterhirse in Abhängigkeit von Wasserregime, Anbausystem und Versuchsstandort in den Jahren 2006 und 2007.

	2006			2007		
	Mais	Sonnenblume	Futterhirse	Mais	Sonnenblume	Futterhirse
kg m <sup>-3</sup>						
<u>Hauptfruchtanbau</u>						
Braunschweig	3,9	0,2	4,0	2,3	2,2	1,6
Müncheberg	4,1	2,5	3,3	3,6	0,2	4,4
<u>Zweikulturnutzung</u>						
Braunschweig	4,4	0,9	3,8	2,4	-0,3	0,7
Müncheberg	6,0	1,8	4,2	4,2	-1,6	3,4
Forchheim	1,5	0,7	1,8	4,8	1,3	2,7

Von den drei geprüften Zweitfrüchten war der Mais sowohl im Trockenmasseertrag (Tabelle 4.14) als auch im Methanertrag (Tabelle 4.15) die ertragsstärkste Kultur und Sonnenblume mit deutlichem Abstand die ertragsschwächste Kultur. Die über Jahre, Standorte und Wasserregime gemittelten relativen Trockenmasseerträge der Sonnenblume lagen bezogen auf den Mais bei durchschnittlich 54% für die Zweikulturnutzung und bei 48% für den Hauptfruchtanbau. Die Futterhirse nahm mit einem relativen Trockenmasseertrag von 88% bei Zweikulturnutzung und 76% beim Hauptfruchtanbau eine Mittelstellung ein.



Tabelle 4.14. Relative Trockenmasseerträge von Sonnenblume und Futterhirse bezogen auf Mais (100%) in Abhängigkeit von Wasserregime, Anbausystem und Versuchsstandort in den Jahren 2006 und 2007.

	2006						2007					
	'Minimal'			'Optimal'			'Minimal'			'Optimal'		
	Mais	Sonnenblume	Futterhirse	Mais	Sonnenblume	Futterhirse	Mais	Sonnenblume	Futterhirse	Mais	Sonnenblume	Futterhirse
%												
<u>Hauptfruchtanbau</u>												
Braunschweig	100	63	78	100	47	85	100	43	70	100	45	70
Müncheberg	100	50	83	100	54	77	100	41	69	100	37	71
Mittelwert	100	57	81	100	51	81	100	42	70	100	41	71
<u>Zweikulturnutzung</u>												
Braunschweig	100	58	86	100	45	86	100	54	78	100	51	75
Müncheberg	100	83	111	100	54	88	100	56	68	100	43	64
Forchheim	100	53	94	100	52	97	100	51	112	100	43	95
Mittelwert	100	65	97	100	50	90	100	54	86	100	46	78

Tabelle 4.15. Relative Methanerträge von Sonnenblume und Futterhirse bezogen auf Mais (100%) in Abhängigkeit von Wasserregime, Anbausystem und Versuchsstandort in den Jahren 2006 und 2007.

	2006						2007					
	'Minimal'			'Optimal'			'Minimal'			'Optimal'		
	Mais	Sonnen- blume	Futter- hirse	Mais	Sonnen- blume	Futter- hirse	Mais	Sonnen- blume	Futter- hirse	Mais	Sonnen- blume	Futter- hirse
%												
<u>Hauptfruchtanbau</u>												
Braunschweig	100	59	62	100	43	66	100	40	56	100	43	56
Müncheberg	100	47	67	100	50	61	100	39	53	100	35	55
Mittelwert	100	53	65	100	47	64	100	45	55	100	39	56
<u>Zweikulturnutzung</u>												
Braunschweig	100	54	91	100	41	65	100	52	64	100	48	61
Müncheberg	100	80	89	100	51	70	100	52	53	100	41	50
Forchheim	100	45	77	100	43	78	100	45	91	100	41	76
Mittelwert	100	60	86	100	45	71	100	50	69	100	43	62

Interessanterweise war die Futterhirse dem Mais bei 'minimaler' Bewässerung und Zweikulturnutzung im Trockenmasseertrag sowohl in Müncheberg 2006 als auch in Forchheim 2007 überlegen. Wegen der im Vergleich zu Mais deutlich geringeren Methanausbeute von Futterhirse (Tabellen 4.4, 4.6 und 4.8) besteht diese Überlegenheit zwar im Trockenmasse-, nicht jedoch im Methanertrag. Während sich beim Hauptfruchtanbau in beiden Versuchsjahren die relativen Trockenmasseerträge der Futterhirse bei 'minimaler' und 'optimaler' Bewässerung kaum unterschieden, schnitt die Futterhirse bei Zweikulturnutzung und 'minimaler' Bewässerung deutlich besser ab als bei 'optimaler' Bewässerung (78 versus 67%).

Auch in der Literatur finden sich Hinweise dafür, dass die Futterhirse dem Mais bei mäßigem bis starkem Trockenstress im Biomasseertrag überlegen ist. Verantwortlich für dieses vergleichsweise höhere Ertragspotenzial unter Trockenstress ist möglicherweise die Fähigkeit der Sorghumhirsen tief zu wurzeln und ein umfangreiches Wurzelsystem auszubilden. Allerdings stammen die entsprechenden Vergleichsstudien durchweg aus warmen, semiariden Gebieten von Spanien (Farré und Faci, 2006), Indien (Singh und Singh, 1995) und Australien (Muchow, 1989). Unter den gemäßigten Klimabedingungen Mitteleuropas hat die Futterhirse den Nachteil, dass die derzeit für den Anbau zur Verfügung stehenden Sorten hohe Temperaturansprüche aufweisen, die noch über denen von Mais liegen. Bei früher Aussaat als Hauptfrucht ist damit eine vergleichsweise langsame Jugendentwicklung verbunden. Anders gestaltet sich die Situation, wenn Futterhirse als Zweitfrucht in einem Zweikulturnutzungssystem eingesetzt wird und die Aussaat erst ab Mitte Mai erfolgt. Zu diesem fortgeschrittenen Zeitpunkt herrschen bereits deutlich günstigere Temperaturen für Wachstum und Ertrag von Futterhirse.

Aus den in Braunschweig, Forchheim und Müncheberg durchgeführten Versuchen zur Bewässerung bei Zweikulturnutzung lassen sich folgende **Schlussfolgerungen** ziehen.

- Grünschnittroggen ist dem Welschen Weidelgras als Erstfrucht vorzuziehen, weil die um mehrere Wochen spätere Aussaat von Winterroggen eine flexiblere Fruchtfolgegestaltung ermöglicht und Grünschnittroggen im Vergleich zu Welschem Weidelgras (trotz kürzerer Vegetationszeit) einen höheren Trockenmasseertrag erbringt. Außerdem eröffnet Grünschnittroggen die Möglichkeit den Nutzungszeitpunkt von Mitte Mai bis Anfang Juni flexibel zu gestalten. Auf diese Weise lässt sich der Aussaattermin für die Zweitfrüchte der aktuellen bzw. prognostizierten Bodenfeuchte anpassen was mit Blick auf einen zügigen Feldaufgang (insbesondere auf Trockenstandorten) von entscheidender Bedeutung sein kann.

- Auch auf sommertrockenen Standorten bedürfen die Erstfrüchte (im Gegensatz zu den Zweitfrüchten) keiner künstlichen Bewässerung. Die Erstfrüchte liefern einen berechenbaren Ertrag während bei den Zweitfrüchten in Trockenjahren eine erhebliche Ertragsunsicherheit besteht.
- Da bei der Zweikulturnutzung die Winterbodenfeuchte durch die Erstfrüchte stark beansprucht wird, sind die Startbedingungen für die Zweitfrüchte oft weniger günstig als beim Hauptfruchtanbau. Die bewässerungsbedingten Mehrerträge sind deshalb umso höher, je trockener der Standort und das Jahr sind.
- Sonnenblumen können das Zusatzwasser nicht in einen adäquaten Mehrertrag umsetzen und sind weder bei ausreichender Wasserversorgung noch bei Trockenstress konkurrenzfähig mit Futterhirse und Mais.
- Auf warmen und trockenen Standorten ist die Futterhirse als Zweitfrucht eine Anbaualternative zu Mais.
- Klimatische Gunstlagen wie beispielsweise der Oberrheingraben sind eher geeignet für den Hauptfruchtanbau einer leistungsstarken Sommerung (z.B. Silomais) als für eine Zweikulturnutzung (z.B. Winterroggen/Silomais).
- Obgleich eine explizite Wirtschaftlichkeitsanalyse noch aussteht, dürften die mit dem Anbau von zwei Kulturen verbundenen Mehrkosten weder bei 'minimaler' noch bei 'optimaler' Bewässerung durch entsprechende Mehrerträge an Trockenmasse kompensiert werden.
- Neben ökonomischen Gründen müssen bei einem Vergleich von Hauptfruchtanbau und Zweikulturnutzung noch weitere Aspekte berücksichtigt werden. So bietet die Zweikulturnutzung den Vorteil einer höheren Ertragsicherheit durch Verteilung der witterungsbedingten Produktionsrisiken auf zwei Ernten, eine Erhöhung der Agrobiodiversität sowie zusätzliche Optionen hinsichtlich Zeitpunkt und Fläche der Gärrestausbringung.

## **5 Versuch IV. Ermittlung der Bewässerungswürdigkeit von verschiedenen Energiepflanzenarten (Dr. S. Kruse, LTZ)**

Vor dem Hintergrund knapper fossiler Ressourcen und dem gleichzeitig steigenden Bedarf an Energie, stellt sich die Frage ob diesem Bedarf durch alternative Energieträger entsprochen werden kann. Die Nutzung von Biomasse zur Stromerzeugung über die Vergärung in Biogasanlagen stellt sich als eine Möglichkeit dar, den Energiebedarf dezentral zu decken. Gleichzeitig wird die Möglichkeit eröffnet, die Einkommen der Landwirte zu verbessern und somit den ländlichen Raum neben der Nahrungsmittelproduktion durch Energieproduktion zu stärken. Bedingt durch das hohe Leistungspotenzial, der hohen Energiedichte und die bekannten Anbauverfahren stellt Mais heute die am weitesten verbreitete Kulturart zur Biomasseerzeugung dar. Schon werden Befürchtungen hinsichtlich sich anbahnender Maiswüsten und den damit verbundenen ökologischen Risiken wie Bodenerosion, beschränkte Flora und Fauna etc. formuliert. Alternative Kulturarten besitzen gegebenenfalls das Potenzial, eine vergleichbare Biomasseproduktion wie Mais zu realisieren und könnten somit die befürchteten Silomais-Monokulturen auflockern, ohne dass es zu Gewinneinbußen bei den Landwirten kommt. Vor allem in warmen und trockenen Regionen Deutschlands, wie im Rheingraben, könnten wassereffiziente C4-Arten wie zum Beispiel Sorghumhirsen als Alternative bzw. als Ergänzung zu Mais angebaut werden. Aber auch weitere Arten wie zum Beispiel Sonnenblumen (durch ihre für die Biogasproduktion nahezu optimale Inhaltsstoffzusammensetzung) und Futterrüben (durch die hohe Massenwüchsigkeit) stünden als Alternativen zur Verfügung. Hohe Erträge können jedoch nur erzielt werden, wenn die angesprochenen Kulturarten ihr Leistungspotenzial voll ausnutzen können und dieses ist nur unter optimalen Anbaubedingungen der Fall. Neben der optimalen Nährstoffversorgung stellt die Wasserverfügbarkeit oftmals den begrenzenden Faktor einer hohen Biomasseproduktion dar. Vor dem Hintergrund des prognostizierten Klimawandels kommt dem Faktor Wasser außerdem eine immer größer werdende Bedeutung zu. Die geäußerten Prognosen gehen davon aus, dass die Niederschläge sich immer weiter in die Winterhalbjahre verschieben und es im Sommer vermehrt zu Hitze- und Trockenperioden kommen wird. Um weiterhin Ertragssicherheit garantieren zu können, wird somit eine Beregnung bzw. Bewässerung immer weiter an Bedeutung gewinnen.

Vor diesem Hintergrund war es das Ziel des hier beschriebenen Forschungsprojektes unterschiedliche Energiepflanzenarten bzw. -sorten hinsichtlich ihres Ertragspotenzials bei unterschiedlichen Intensitäten, d.h. unter unterschiedlichen Beregnungs- bzw. Düngungsregimen zu untersuchen.

In den Jahren 2005 bis 2007 wurden in Forchheim Maissorten unterschiedlicher Siloreifezahl (S 250 bis S 700), Sonnenblumen, Futterhirse, Sudangras, Futterrüben, Topinambur sowie ein Silomais-Sonnenblumen-Gemenge in einer 3-faktoriellen Streifenanlage unter **zwei Beregnungs-** und **3 Düngungsintensitäten** angelegt, so dass sich 54 Varianten (4 Wiederholungen je Variante) entsprechend der folgenden Beschreibung und Feldübersicht ergeben (Tabelle 5.1).

Tabelle 5.1. Beschreibung der Versuchsfaktoren.

Faktor	Faktorstufen	Code
Art (Sorte)	Futterrübe (Colosse)	1...
	Sudangras (Susu), einschnittig	2...
	Mais (S 250, Gavott)	3...
	Mais (S 500, Mikado)	4...
	Mais (S 700, Doge)	5...
	Mais (ES Ultrastar) & SB (ES Petunia)	6...
	Topinambur (Rozo)	7...
	Zuckerhirse (Rona 1)	8...
	Sonnenblume (Alisson)	9...
Bewässerung	'Optimal' (ab 50 - 60% nFk)	.1..
	Minimale Bewässerung (nur zur Kultursicherung)	.2..
Düngung	Mineralische Düngung nach guter fachlicher Praxis (ogL)	..1.
	Erhöhte P,- K- und Mg-Düngung	..2.
	Düngung mit Biogasgülle und erhöhte mineralische N-, P-, K- und Mg-Düngung	..3.
Wiederholung	1	...1
	2	...2
	3	...3
	4	...4

Die Düngergaben und -mittel der drei Düngungsvarianten in den unterschiedlichen Versuchsjahren sind der Tabelle 5.2 zu entnehmen. Die Beregnung wurde in den Versuchsjahren mittels Agrowetter (Leitkultur Körnermais) vom Deutschen Wetterdienst gesteuert (s. Gliederungspunkt 1.5), wobei die nutzbare Feldkapazität der 'optimal' mit Wasser versorgten Variante nicht unter 50% sinken und die Beregnung in der 'minimal' versorgten Variante ausschließlich zur Kultursicherung eingesetzt werden sollte.

Tabelle 5.2. Eingesetzte Düngemittel und kulturartabhängig ausgebrachte Mengen an Reinnährstoffen in den Versuchsjahren 2005 bis 2007.

Düngung	Fruchtart	Düngemittel (dt oder m <sup>3</sup> je ha)		N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (kg ha <sup>-1</sup> )	K <sub>2</sub> O	MgO
ogL							
Grunddüngung	Alle	8,33	Kalimagnesia			250	83
Grunddüngung	Alle	5,56	Superphosphat		100		
N-Düngung	Mais	4,35	Alzon	200			
	Sonnenblume	3,04	Alzon	140			
	Topinambur	2,17	Alzon	100			
	Futtermüben	2,17	Alzon	100			
	Futterhirse	4,35	Alzon	200			
	Sudangras	4,34	Alzon	200			
Summe Reinnährstoffe				100/140/200	100	250	83
-----							
P, K, Mg							
Grunddüngung	Alle	11,66	Kalimagnesia			350	116
Grunddüngung	Alle	8,33	Superphosphat		150		
N-Düngung	Mais	4,35	Alzon	200			
	Sonnenblume	3,04	Alzon	140			
	Topinambur	2,17	Alzon	100			
	Futtermüben	2,17	Alzon	100			
	Futterhirse	4,35	Alzon	200			
	Sudangras	4,34	Alzon	200			
Summe Reinnährstoffe				100/140/200	150	350	116
-----							
BGG							
Grunddüngung	Alle	6,73	Kalimagnesia			202	67
Grunddüngung	Alle	5,84	Superphosphat		105		
Biogasgülle	Alle	40,00	Biogasgülle	96	45	148	15

Tabelle 5.2. Eingesetzte Düngemittel und kulturartabhängig ausgebrachte Mengen an Reinnährstoffen in den Versuchsjahren 2005 bis 2007.

Düngung	Fruchtart	Düngemittel (dt oder m <sup>3</sup> je ha)		N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	MgO
				(kg ha <sup>-1</sup> )			
N-Düngung	Mais	3,26	Alzon	150			
	Sonnenblume	1,96	Alzon	90			
	Topinambur	1,09	Alzon	50			
	Futtermübe	1,09	Alzon	50			
	Futterhirse	3,26	Alzon	150			
	Sudangras	3,26	Alzon	150			
	Summe Reinnährstoffe				146/186/246	150	350



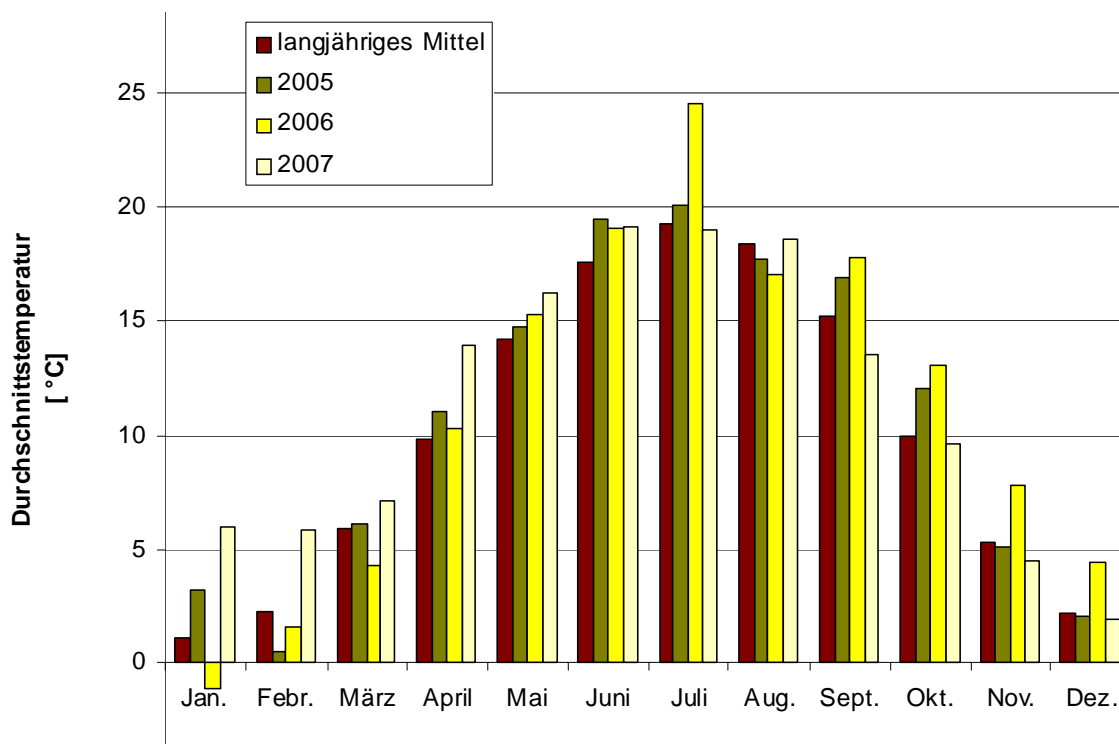


Abbildung 5.1. Durchschnittstemperaturen am Standort Forchheim in den Versuchsjahren 2005 bis 2007 im Vergleich zum langjährigen Mittel.

Die **Witterungsbedingungen** am Standort Forchheim stellten sich in den Versuchsjahren 2005 bis 2007 wärmer und trockener dar als im Mittel langjähriger Wetteraufzeichnungen (Abbildung 5.1). Im Jahr 2005 lagen die **Jahresdurchschnittstemperaturen** um 0,7 °C, im Jahr 2006 um 1,1 °C und im Jahr 2007 sogar um 1,2 °C über dem langjährigen Mittel. Die Durchschnittstemperatur in der Vegetationszeit (April bis September) war im Durchschnitt der Jahre 2006 bis 2007 um 1,3 °C höher. Bemerkenswert ist hierbei, dass von April 2006 bis Juni 2007 die monatlichen Durchschnittstemperaturen mit Ausnahme des August 2006 sämtlich über dem langjährigen Mittel lagen (z.B. Januar 2007: +4,9 °C, Juli 2007: +5,3 °C).

Gleichzeitig kann festgehalten werden, dass die **Jahresniederschlagssummen** in den Versuchsjahren durchweg unter dem langjährigen Mittel lagen (Abbildung 5.2). Selbst im wechselhaften Jahr 2007 welches deutschlandweit durch ein hohes Auftreten von Starkregenereignissen charakterisiert war, fielen 171 mm weniger Niederschlag als im langjährigen Mittel, wohingegen das Jahr 2006 'nur' um 28 mm trockener war. In der Vegetationszeit der Jahre 2006 und 2007 fielen 64 bzw. 73 mm weniger Regen, wobei die Niederschläge im letzten Jahr wesentlich ausgeglichener auftraten.

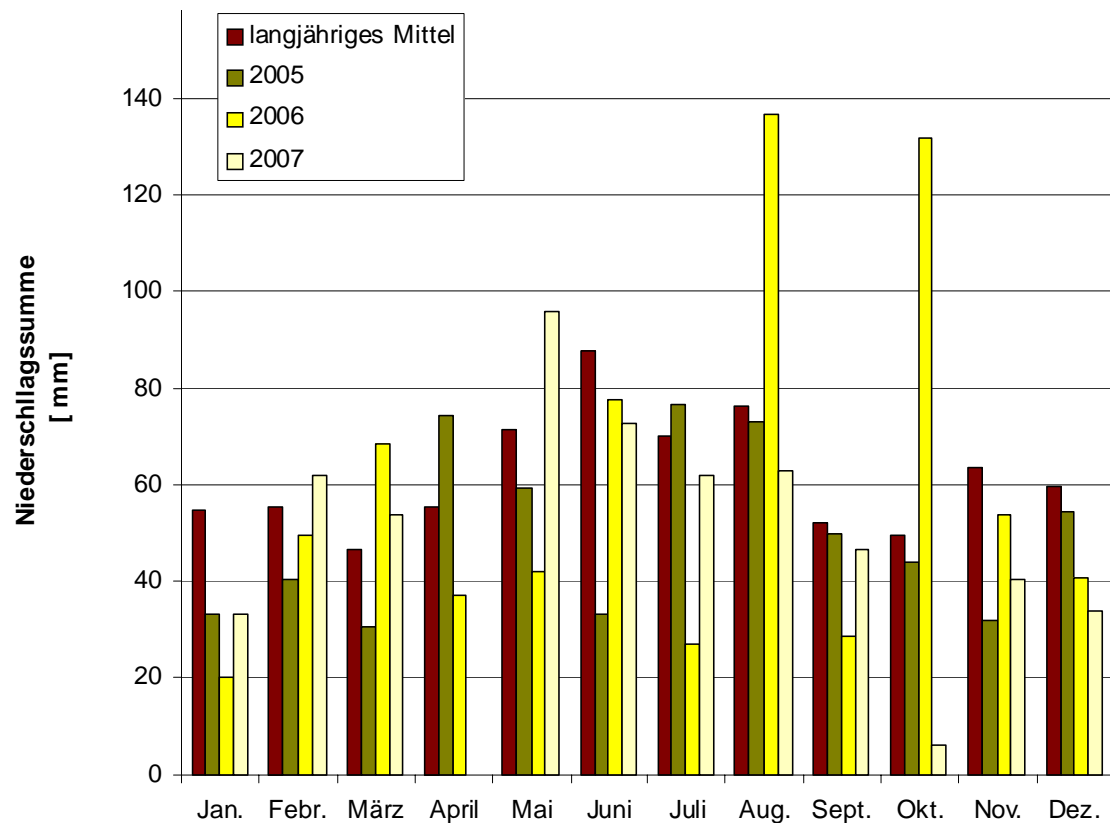


Abbildung 5.2. Niederschlagssummen am Standort Forchheim in den Versuchsjahren 2005 bis 2007 im Vergleich zum langjährigen Mittel.

Im Folgenden wird ausschließlich auf bemerkenswerte Besonderheiten in der **Versuchsdurchführung** eingegangen. Detaillierte Angaben zum Beispiel zu den eingesetzten Sorten, den Aussaat- und Erntedaten, sowie zu den ausgebrachten Pflanzenschutzmitteln und Besonderheiten im Anbau der Versuchsjahre können den Tabellen A5.1 bis A5.3 im Anhang entnommen werden. Der Versuchsanbau in den drei Versuchsjahren konnte ohne größere Komplikationen vorgenommen werden. Durch Einzäunung der frisch eingesäten Versuche konnte der Wildschweinfraß bzw. das Wühlen soweit minimiert werden, dass nur in Einzelfällen eine maschinelle Nachsaat vor allem bei Mais notwendig war. Die Sonnenblumen wurden nach den Erfahrungen des ersten Versuchsjahres gleich nach der Aussaat durch Vliesabdeckung vor Krähenfraß geschützt, so dass auch hier nur eine punktuelle Nachsaat notwendig war, um homogene Bestände zu etablieren. Eine ähnliche Problematik zeigte sich bei den Sorghumhirsen, die ebenfalls vereinzelt nach Vogelfraß nachgesät werden mussten.

Die **Sortenwahl** richtete sich nach dem bekannten Leistungspotenzial der entsprechenden Sorten bzw. nach den Anbauempfehlungen für den Standort. Nach den Erfahrungen des ersten Versuchsjahres 2005 wurde bei dem Mais-Sonnenblumen Gemenge die spätabreifende Maissorte Doge gegen eine dem Abreifeverhalten der Sonnenblume entsprechende Sorte (Ultrastar) ausgetauscht. Den Empfehlungen der Züchter zum gemeinsamen Anbau von Sonnenblumen und Mais folgend, wurde im Jahr 2007 die Sonnenblumensorte Petunia angebaut. Die Sorten der weiterhin getesteten Kulturen änderten sich im Verlauf des Versuches nicht.

Die **Aussaat** von Sudangras und Futterhirse in den letzten beiden Versuchsjahren wurde im Vergleich zum Jahr 2005 um ca. 2 Wochen auf Mitte bis Ende Mai verschoben, um eine ausreichende Erwärmung des Bodens sicherzustellen. Die Aussaattermine der anderen Kulturen variierten in unerheblichem Maße um den entsprechend optimalen Zeitpunkt.

In allen Versuchsjahren konnte eine zufriedenstellende Etablierung der Bestände durch angepasste **Beikrautregulierung** (chemisch bzw. mechanisch) erreicht werden. Ausschließlich die Futterrüben wurden neben den chemischen Herbizidanwendungen im weiteren Vegetationsverlauf mit Fungiziden zur Kontrolle des Cercospora-Befalls behandelt. Die unterschiedlichen Witterungsbedingungen der Versuchsjahre spiegelte sich auch durch das unterschiedlich starke Auftreten verschiedener Krankheiten bzw. Schädlinge wider. Neben dem Mehltaubefall von Topinambur und Sonnenblumen wurde vor allem im Jahr 2007 ein hoher Befall von *Sclerotinia* und *Botrytis* bei diesen beiden Korbblütlern festgestellt. Die relativ feuchte Witterung im Sommer 2007 führte ebenfalls zu einem hohen Befallsdruck von *Cercospora beticola* in den Futterrüben, im Jahr 2006 wurde außerdem ein erheblicher Befall durch *Rhizoctonia solani* festgestellt. Das Jahr 2006 zeichnete sich bei den Sorghumarten durch einen Befall durch Maiszünsler und *Helminthosporium* aus, welches bei der Fruchtfolgegestaltung bedacht werden sollte. Maisbeulenbrand und Läusebefall wurde in nahezu allen Versuchsjahren in ähnlichem Ausmaß bei den untersuchten Silomaissorten bonitiert. Die **Düngergaben** der einzelnen Versuchsjahre bzw. der unterschiedlichen Intensitäten und die verwendeten Mittel und Termine sind den Tabellen A5.1 bis A5.3 zu entnehmen. Aufgrund der unterschiedlichen Witterungsbedingungen in den Versuchsjahren variierte die für die **Beregnung** eingesetzte Wassermenge. Im Jahr 2005 wurden in der 'optimal' mit Wasser versorgten Variante bis zu 235 mm zusätzlich beregnet, im Jahr 2006 200 mm und im Jahr 2007 120 mm (Silomaissorte Doge). Die 'minimal' bewässerte Variante erhielt in den einzelnen Jahren bis zu 75, 90, bzw. 0 mm Wasser.

Die **Erntetermine** der einzelnen Kulturen variierten erheblich zwischen den Jahren. Aufgrund der enttäuschenden Trockenmasseerträge des zweiten Schnitts vom Sudangras und der geringen Trockenmassegehalte wurde im Jahre 2007 auf eine zweimalige Schnittnutzung verzichtet. Im Jahr 2007 erfolgte außerdem eine Bestimmung der Trockenmassegehalte der Gesamtpflanzen durch Testernten in den Randleihen um den optimalen Erntetermin zu bestimmen, da auf Grund unterschiedlicher Abreifetypen der optimale Erntezeitpunkt von Silomais nicht ausschließlich an der Abreife der Kolben festgemacht werden kann. Dieses Verfahren wurde bei den Silomaisorten, bei Sudangras und Futterhirse eingesetzt, da auch bei den letztgenannten Arten das Ziel war, Trockenmassegehalte von mehr als 28% zu erzielen.

Im Folgenden sind die mit dem Statistikprogrammpaket SAS<sup>®</sup> verrechneten **Ergebnisse** im Hinblick auf die Ertrags- bzw. Qualitätsparameter der Jahre 2005 bis 2007 dargestellt. Detaillierte Angaben zu Erträgen und Gehalten bzw. zu der statistischen Auswertung der Einzeljahre finden sich in den Tabellen A5.4 bis A5.6. Die Auswertung über die Jahre findet sich in der nachstehenden Tabelle 5.3. Die statistische Auswertung der **Trockenmasseerträge** zeigt bei jedem untersuchten Faktor einschließlich aller Interaktionen untereinander signifikante Unterschiede. Bei näherer Betrachtung der *F*-Werte wird klar, dass die Haupteffekte 'Beregnung' und 'Fruchtart' neben dem Jahreseffekt den größten Einfluss auf die Ergebnisse ausüben und der Faktor 'Düngung' dagegen unbedeutender erscheint.

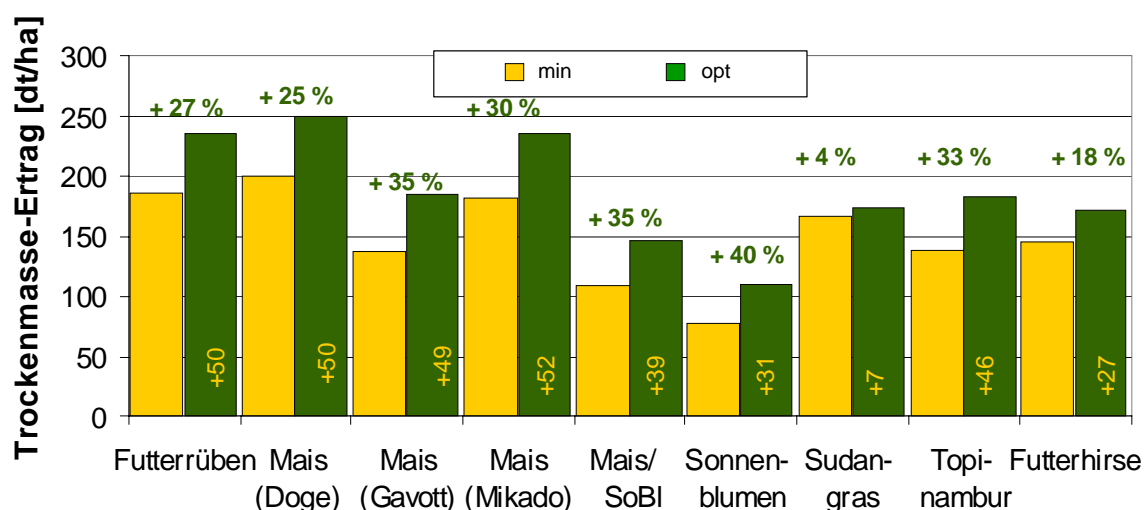


Abbildung 5.3. Trockenmasseerträge der untersuchten Kulturen in Abhängigkeit vom Wasserregime im Mittel der Düngungsintensitäten und Versuchsjahre.

Tabelle 5.3. Einfluss von Wasser- und Düngungsregime auf Nährstoffgehalte (i.d. TM), TM-Gehalt, Methanausbeute, Erträge und N-Entzug im Jahr 2007 am Standort Forchheim.

Wasser- regime (W)	Düngungs- regime (D)	Fruchtart (F)	Roh- asche %	Roh- fett %	Roh- protein %	Roh- faser %	NfE %	TM- Gehalt %	CH <sub>4</sub> - Ertrag m <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup>	FM- Ertrag t ha <sup>-1</sup>	TM- Ertrag t ha <sup>-1</sup>	CH <sub>4</sub> - Ausbeute L (kg oTM) <sup>-1</sup>	N- Entzug kg ha <sup>-1</sup>
'Minimal'	ogL	Mais Gavott	4,26	2,17	10,2	20,9	62,5	30,2	4.074	46,7	14,3	297	226
		Mais Mikado	3,88	1,85	7,6	22,1	64,5	31,0	5.203	58,7	18,2	297	223
		Mais Doge	3,97	1,84	7,0	22,7	64,6	31,0	5.672	64,2	19,9	297	223
		Futterhirse	4,70	1,61	8,7	25,9	59,1	24,9	3.429	56,0	14,1	260	196
		Sudangras	5,24	1,47	9,0	27,1	57,2	25,5	3.878	65,1	16,4	249	236
		Sonnenblume	10,81	10,20	12,8	26,4	39,8	30,5	2.287	30,8	8,7	292	178
		Mais/Sonnenbl.	6,57	3,62	9,2	24,6	56,0	30,2	3.103	37,6	11,4	291	162
		Topinambur	8,94	0,99	10,1	18,5	61,5	24,6	3.479	54,2	13,4	285	216
		Futterrübe	9,35	0,34	8,2	5,9	76,2	16,2	5.921	114,8	18,6	352	236
		<b>Mittel</b>			<b>6,45</b>	<b>2,68</b>	<b>9,2</b>	<b>21,5</b>	<b>60,1</b>	<b>27,0</b>	<b>4.127</b>	<b>59,1</b>	<b>15,0</b>
	P,K,Mg	Mais Gavott	4,38	2,04	10,0	21,3	62,3	29,3	3.750	44,6	13,2	297	208
		Mais Mikado	3,94	1,80	8,2	21,8	64,2	31,1	5.072	57,0	17,8	297	234
		Mais Doge	4,34	1,69	7,5	23,0	63,4	30,5	5.503	63,7	19,4	296	234
		Futterhirse	4,77	2,08	9,0	25,8	58,4	24,9	3.620	58,9	14,9	261	212
		Sudangras	5,31	1,58	8,8	25,2	59,1	25,5	3.965	66,5	16,8	249	238
		Sonnenblume	12,21	10,28	12,6	26,6	38,3	28,2	1.840	27,2	7,1	292	142
		Mais/Sonnenbl.	6,96	3,57	9,9	24,4	55,1	29,3	2.890	36,4	10,7	291	168
		Topinambur	8,82	1,07	10,4	18,6	61,0	24,6	3.602	56,4	13,8	285	229
		Futterrübe	10,42	0,48	9,4	6,1	73,7	15,8	6.095	124,1	19,5	349	289
		<b>Mittel</b>			<b>6,79</b>	<b>2,73</b>	<b>9,5</b>	<b>21,4</b>	<b>59,5</b>	<b>26,6</b>	<b>4.037</b>	<b>59,4</b>	<b>14,8</b>
	BGG +++	Mais Gavott	4,54	2,38	10,5	19,9	62,7	30,3	4.079	46,8	14,3	299	238
		Mais Mikado	4,27	1,91	8,6	22,3	62,9	30,6	5.211	59,8	18,4	296	253
		Mais Doge	4,52	1,61	7,7	23,6	62,5	30,2	5.776	67,9	20,5	295	254
		Futterhirse	5,09	1,58	9,2	26,2	57,9	24,1	3.487	59,1	14,4	260	215
		Sudangras	5,47	1,79	9,2	26,6	57,0	25,5	4.046	69,2	17,3	247	256
		Sonnenblume	11,80	9,92	12,7	26,9	38,7	27,6	1.944	28,5	7,5	291	151
		Mais/Sonnenbl.	7,09	4,19	10,5	23,7	54,5	29,8	2.946	35,5	10,8	293	182
		Topinambur	9,93	1,19	11,5	19,3	58,0	24,1	3.593	57,9	14,0	283	246
		Futterrübe	10,81	0,50	10,3	6,2	72,1	15,1	5.472	117,2	17,6	348	282
		<b>Mittel</b>			<b>7,10</b>	<b>2,81</b>	<b>10,1</b>	<b>21,5</b>	<b>58,5</b>	<b>26,4</b>	<b>4.062</b>	<b>60,0</b>	<b>14,9</b>
<b>Mittel</b>			<b>6,78</b>	<b>2,74</b>	<b>9,6</b>	<b>21,5</b>	<b>59,4</b>	<b>26,7</b>	<b>4.075</b>	<b>59,5</b>	<b>14,9</b>	<b>291</b>	<b>219</b>

Tabelle 5.3. Einfluss von Wasser- und Düngungsregime auf Nährstoffgehalte (i.d. TM), TM-Gehalt, Methanausbeute, Erträge und N-Entzug im Jahr 2007 am Standort Forchheim.

Wasser- regime (W)	Düngungs- regime (D)	Fruchtart (F)	Roh- asche %	Roh- fett %	Roh- protein %	Roh- faser %	NfE %	TM- Gehalt %	CH <sub>4</sub> - Ertrag m <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup>	FM- Ertrag t ha <sup>-1</sup>	TM- Ertrag t ha <sup>-1</sup>	CH <sub>4</sub> - Ausbeute L (kg oTM) <sup>-1</sup>	N- Entzug kg ha <sup>-1</sup>
<b>'Optimal'</b>	ogL	Mais Gavott	3,52	2,62	8,2	19,1	66,5	29,9	5.270	60,7	18,2	301	234
		Mais Mikado	3,38	1,95	7,0	20,7	66,9	35,3	6.510	63,9	22,6	298	257
		Mais Doge	3,56	1,75	5,8	23,8	65,1	34,1	6.757	69,5	23,6	296	220
		Futterhirse	4,95	1,54	8,2	24,4	60,9	25,4	4.185	67,6	17,3	259	229
		Sudangras	5,12	1,53	8,4	27,8	57,1	23,1	3.744	69,1	15,9	249	214
		Sonnenblume	10,61	11,92	11,9	25,4	40,1	27,0	3.202	43,8	12,1	297	232
		Mais/Sonnenbl.	6,55	4,00	9,0	25,3	55,2	29,8	3.997	48,2	14,7	292	213
		Topinambur	8,03	0,91	7,9	21,6	61,6	26,1	4.635	69,0	18,1	278	227
		Futterrübe	8,76	0,40	7,0	5,9	78,0	17,0	7.346	14,1	22,8	353	254
		<b>Mittel</b>			<b>6,05</b>	<b>2,99</b>	<b>8,2</b>	<b>21,6</b>	<b>61,2</b>	<b>27,6</b>	<b>5.058</b>	<b>70,0</b>	<b>18,4</b>
	P,K,Mg	Mais Gavott	3,94	2,41	8,7	20,4	64,6	29,4	5.319	63,0	18,5	299	254
		Mais Mikado	3,62	1,94	7,4	21,2	65,8	33,7	6.738	69,9	23,5	298	280
		Mais Doge	3,88	1,69	6,2	24,8	63,4	33,1	7.222	77,4	25,5	295	250
		Futterhirse	4,95	2,10	8,2	24,5	60,2	24,2	4.100	68,9	16,9	260	224
		Sudangras	5,41	1,47	8,4	28,2	56,5	22,6	4.149	79,1	17,6	249	239
		Sonnenblume	11,32	10,90	11,5	26,4	39,8	22,3	2.799	48,0	10,7	294	196
		Mais/Sonnenbl.	6,64	3,53	9,0	24,3	56,5	27,5	4.026	53,6	14,8	291	213
		Topinambur	7,77	0,79	8,1	23,1	60,3	25,8	4.843	64,1	19,0	276	247
		Futterrübe	9,89	0,46	7,6	6,0	76,1	15,2	7.656	156,6	24,2	352	287
		<b>Mittel</b>			<b>6,38</b>	<b>2,81</b>	<b>8,4</b>	<b>22,1</b>	<b>60,3</b>	<b>26,0</b>	<b>5.206</b>	<b>75,6</b>	<b>19,0</b>
	BGG +++	Mais Gavott	4,05	2,67	9,0	19,8	64,5	28,4	5.526	67,0	19,2	300	266
		Mais Mikado	3,77	2,00	7,6	22,0	64,6	33,4	7.047	73,4	24,6	297	294
		Mais Doge	4,08	1,77	6,6	24,4	63,3	31,6	7.270	81,4	25,7	295	265
		Futterhirse	5,29	2,04	9,7	27,2	55,8	23,3	4.200	73,5	17,2	261	271
		Sudangras	5,83	1,83	8,6	27,3	56,5	22,4	4.336	84,1	18,4	250	255
		Sonnenblume	11,55	11,24	12,2	26,3	38,7	23,8	2.629	41,7	10,0	294	198
		Mais/Sonnenbl.	6,48	4,25	9,7	24,4	55,1	27,6	3.909	52,1	14,3	293	219
		Topinambur	8,73	0,91	9,2	23,5	57,6	25,7	4.546	70,8	18,0	276	254
		Futterrübe	9,45	0,47	8,5	6,0	75,6	14,9	7.639	158,0	24,1	350	315
		<b>Mittel</b>			<b>6,58</b>	<b>3,03</b>	<b>9,0</b>	<b>22,3</b>	<b>59,1</b>	<b>25,7</b>	<b>5.234</b>	<b>78,0</b>	<b>19,1</b>
<b>Mittel</b>			<b>6,34</b>	<b>2,94</b>	<b>8,5</b>	<b>22,0</b>	<b>60,2</b>	<b>26,4</b>	<b>5.176</b>	<b>74,8</b>	<b>18,8</b>	<b>291</b>	<b>245</b>
GD ( $P < 0,05$ ) <sup>†</sup>			0,1	0,1	0,1	0,2	0,3	-	76	12,4	2,7	0,4	4
GD ( $P < 0,05$ ) <sup>‡</sup>			0,3	-	0,2	0,7	0,8	0,5	144	21,0	5,2	1,1	9

Tabelle 5.3. Einfluss von Wasser- und Düngungsregime auf Nährstoffgehalte (i.d. TM), TM-Gehalt, Methanausbeute, Erträge und N-Entzug im Jahr 2007 am Standort Forchheim.

Wasser- regime (W)	Düngungs- regime (D)	Fruchtart (F)	Roh- asche %	Roh- fett %	Roh- protein %	Roh- faser %	NfE %	TM- Gehalt %	CH <sub>4</sub> - Ertrag m <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup>	FM- Ertrag t ha <sup>-1</sup>	TM- Ertrag t ha <sup>-1</sup>	CH <sub>4</sub> - Ausbeute L (kg oTM) <sup>-1</sup>	N- Entzug kg ha <sup>-1</sup>
<u>Signifikanz der F-Werte aus der Varianzanalyse</u>													
	J		**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**
	W		**	*	**	**	**	NS	**	**	**	NS	**
	W x J		**	**	**	NS	**	**	**	**	**	**	**
	D		**	NS	**	NS	**	**	NS	**	*	*	**
	D x J		**	NS	**	*	*	**	*	**	**	NS	**
	D x W		NS	NS	NS	NS	NS	**	*	**	*	NS	NS
	D x W x J		NS	**	**	NS	NS	NS	**	**	**	**	**
	F		**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**
	F x J		**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**
	F x W		**	NS	**	**	**	**	**	**	**	**	**
	F x J x W		**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**
	F x D		**	NS	**	NS	*	**	**	**	**	NS	**
	F x D x J		**	NS	**	**	**	**	**	**	**	**	**
	F x D x W		NS	NS	NS	NS	NS	NS	*	**	*	NS	*
	F x D x W x J		NS	**	**	NS	**	**	**	NS	**	**	**

† Grenzdifferenz für Mittelwertvergleiche zwischen Wasserregimen innerhalb eines Merkmals.

‡ Grenzdifferenz für Mittelwertvergleiche von Wasserregime x Erstfrucht-Kombinationen innerhalb eines Merkmals.

\*, \*\* Signifikant für  $P < 0,05$  und  $P < 0,01$ ; NS = nicht signifikant für  $P < 0,05$ .

NfE = Stickstofffreie Extraktstoffe

Der große Einfluss den die Beregnung auf die TM-Erträge der einzelnen Kulturen ausübt wird deutlich bei Betrachtung der Abbildung 5.3. So steigen die TM-Erträge in Abhängigkeit von der Beregnung um 7 dt TM ha<sup>-1</sup> (Sudangras) bis zu 52 dt TM ha<sup>-1</sup> bei der Silomaisorte Mikado. In der 'minimal' mit Wasser versorgten Variante weisen die Sonnenblumen mit 7,8 t TM ha<sup>-1</sup> den niedrigsten und die Sorte Doge mit 25,0 t TM ha<sup>-1</sup> in der 'optimal' beregneten Variante den höchsten Ertrag auf. Vor allem die Sonnenblumenenerträge variieren erheblich zwischen den Jahren. In der 'minimal' versorgten Variante unterscheiden sich die Erträge um 50 dt TM ha<sup>-1</sup>, in der 'optimal' mit Wasser versorgten Variante sogar um 62 dt TM ha<sup>-1</sup>. Der große jahresbedingte Unterschied im Sonnenblumenenertrag spiegelt sich auch wider bei Betrachtung des Mais-Sonnenblumen-Gemenges, bei dem Unterschiede von 57 bzw. 89 dt TM ha<sup>-1</sup> in Abhängigkeit vom Jahr festgestellt werden können (Abbildung 5.4).

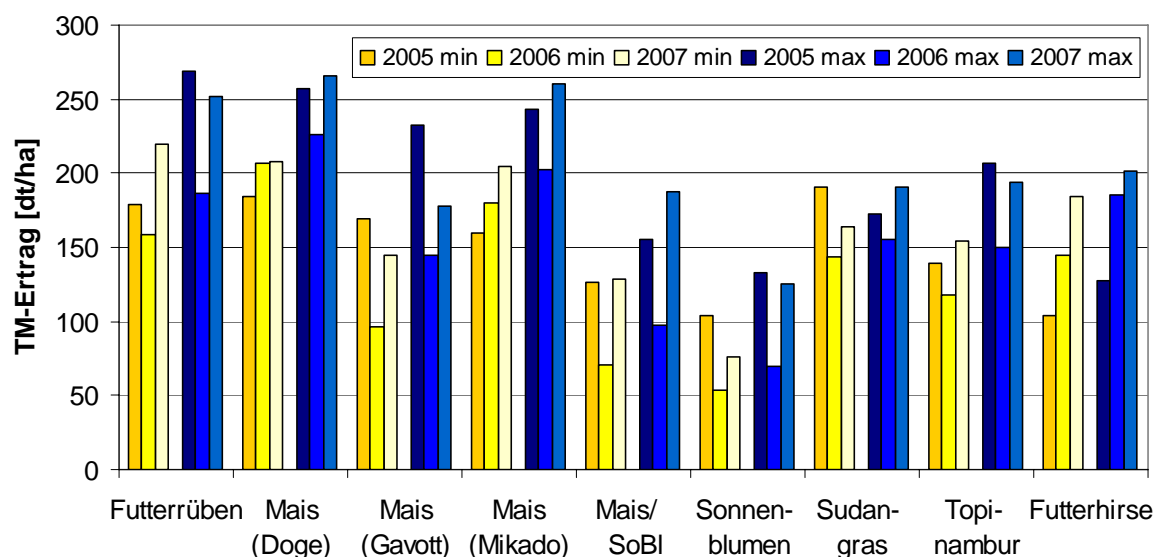


Abbildung 5.4. TM-Erträge der untersuchten Kulturen in Abhängigkeit von Wasserregime und Versuchsjahr im Mittel der Düngungsvarianten.

Aber auch die positiven Auswirkungen der Beregnung auf den Ertrag variieren zwischen den Jahren. Während zum Beispiel im Jahr 2005 ein Mehrertrag durch Beregnung bei den Futterrüben von 8,9 t TM ha<sup>-1</sup> erzielt werden konnte, stieg der TM-Ertrag im Jahr 2007 nur um 3,3 t TM ha<sup>-1</sup>. Der im Gegensatz zu den Faktoren Jahr, Fruchtart und Wasserregime eher unbedeutende Einfluss des Faktors Düngung auf den Trockenmasseertrag der betrachteten Kulturarten wird in Abbildung 5.5 deutlich.



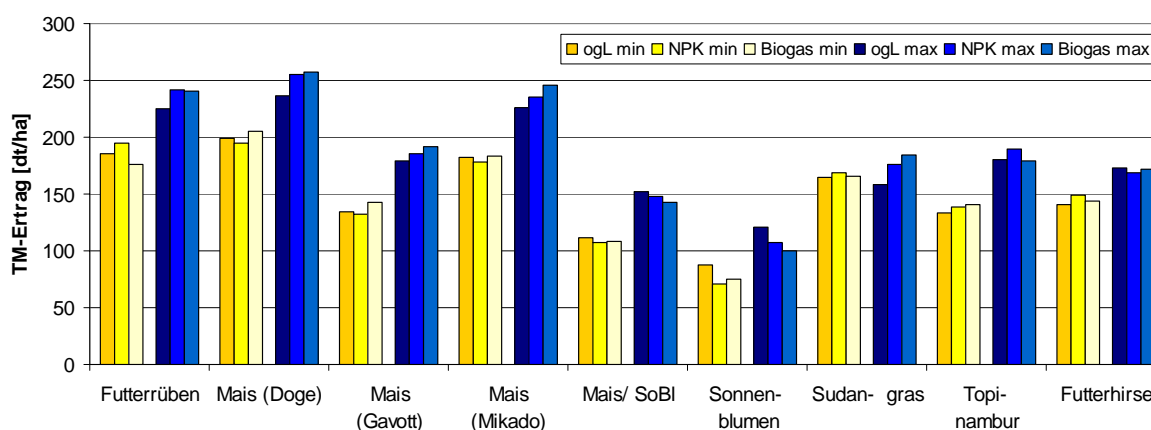


Abbildung 5.5. Trockenmasseertrag der einzelnen Kulturen in Abhängigkeit von Wasserregime und Düngungsintensität im Mittel der Versuchsjahre.

Den niedrigsten Ertrag hatten im Mittel der Jahre die Sonnenblumen in der 'minimal' mit Wasser versorgten Variante. Die mit einer erhöhten Grunddüngung versorgten Sonnenblumen erzielen nur einen TM-Ertrag von  $7,1 \text{ t ha}^{-1}$ . Im Gegensatz dazu kann die späte Silomaisorte Doge einen TM-Ertrag von durchschnittlich  $25,7 \text{ t ha}^{-1}$  in den Versuchsjahren mit einer Biogasdüngung und 'optimaler' Wasserversorgung realisieren. Der größte Unterschied zwischen den Düngungsstufen im Mittel der Untersuchungsjahre kann im TM-Ertrag des Sudangrases in der 'optimal' mit Wasser versorgten Variante festgestellt werden ( $27 \text{ dt TM ha}^{-1}$ ). Die 'minimal' mit Wasser versorgte Variante des Sonnenblumen-Mais-Gemenges variiert dagegen lediglich um  $4 \text{ dt TM ha}^{-1}$  zwischen den einzelnen Düngungsstufen im Mittel der Versuchsjahre.

Im Gegensatz zu dem TM-Ertrag zeigt der **TM-Gehalt** der betrachteten Kulturen keine gleichgerichtete Reaktion auf 'optimale' Wasserversorgung einerseits bzw. Trockenstress andererseits, welches an dem nicht signifikanten Einfluss des Faktors Beregnung abgelesen werden kann. Während die Maissorte Gavott, Futterhirse, Sudangras, Sonnenblumen und in geringem Ausmaße Futterrüben mit einer erhöhten TM-Akkumulation auf Trockenstress reagierten, zeigen die Maissorten Mikado und Doge, die Sonnenblumen-Mais-Mischung und die Topinambur eine entgegengesetzte Reaktion (Abbildung 5.6). Der Einfluss der Art bzw. des Jahres ist dagegen ganz erheblich. Den niedrigsten TM-Gehalt weisen die Futterrüben auf, die in keinem Versuchsjahr die 20% überschreiten konnten. Während der hohe TM-Gehalt der Sonnenblumen von 47% im letzten Versuchsjahr durch das krankheitsbedingte rasche Absterben der Pflanzen erklärt werden kann, zeigt sich, dass sich der Verzicht auf eine Zweischnittnutzung beim Sudangras zumindest hinsichtlich des erzielbaren TM-Gehaltes (+7%) positiv ausgewirkt hat.

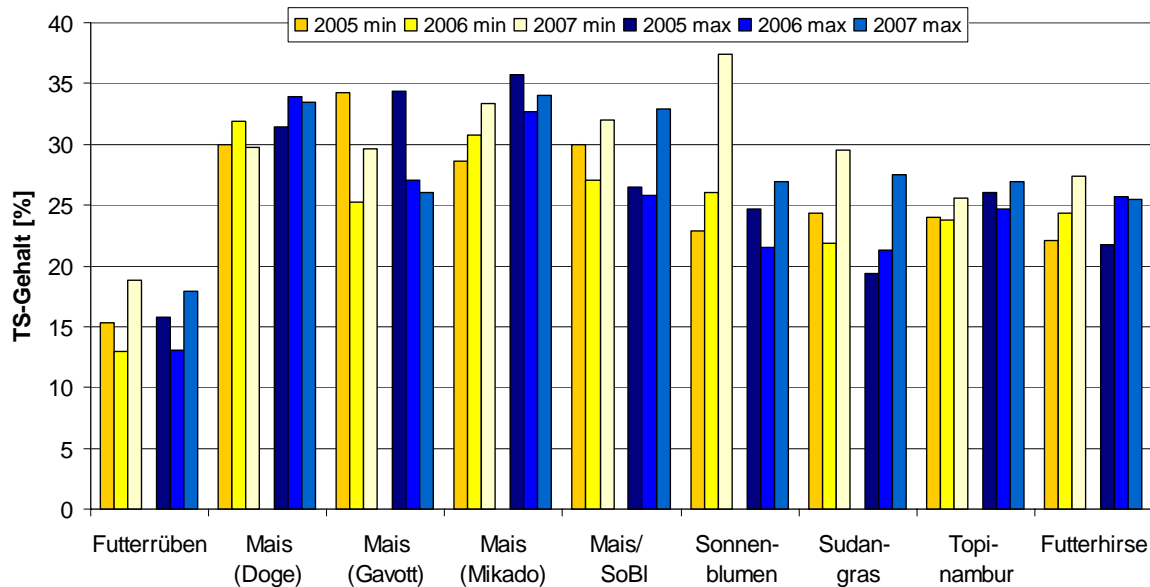


Abbildung 5.6. TM-Gehalte der einzelnen Kulturen in Abhängigkeit von Wasserregime und Versuchsjahr im Mittel der Düngungsintensitäten.

Als zentrales Ergebnis bleibt festzuhalten, dass im Vergleich zum Mais vor allem die Futterrüben ertraglich mithalten können. Im Vergleich zum Silomais Mikado ( $23 \text{ t TM ha}^{-1}$ ), der am Standort Forchheim als angepasste Energie- maissorte angesprochen werden kann, erreichen sie im Mittel der Berechnungsstufen mit relativ 101% einen nahezu identischen Ertrag. Futterhirse und Sudan-gras erzielten im Mittel der Berechnungsstufen 80% des Ertrages von Silomais, wobei sie unter trockenen Witterungsbedingungen bis zu 90% ( $18 \text{ t TM ha}^{-1}$  bei Futterhirse) des Maisertrages realisieren. Die Sonnenblumen und das Sonnenblumen-Mais-Gemenge enttäuschten dagegen mit im Mittel der Jahre lediglich 37 bis 63% des Maisertrages. Auch die Topinambur erreicht mit 10 bis  $13 \text{ t TM ha}^{-1}$  nur 51% des Maisertrages.

Das vorliegende Pflanzenmaterial wurde mittels Weender Analyse auf **Qualitätsparameter** untersucht, um anhand der Rohnährstoffgehalte den theoretischen Methanertrag nach Schattauer und Weiland (2004) berechnen zu können. Im Folgenden werden zunächst die ermittelten Gehalte an Rohprotein und der Stickstoffertrag vorgestellt, bevor dann kurz auf die Gehalte der anderen Rohnährstoffe eingegangen wird.

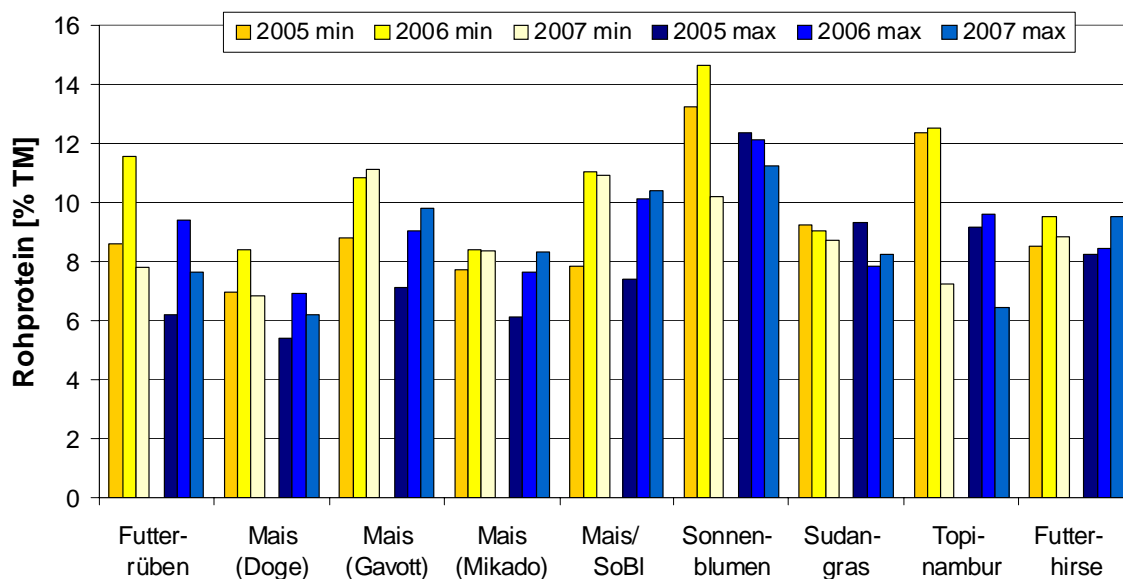


Abbildung 5.7. Rohproteingehalte der betrachteten Kulturarten in Abhängigkeit von Wasserregime und Versuchsjahr im Mittel der Düngungsintensitäten.

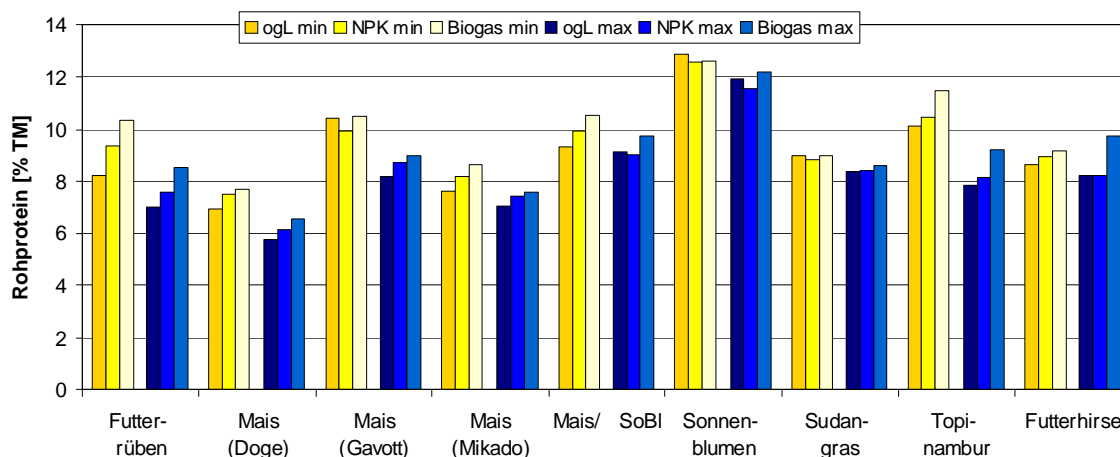


Abbildung 5.8. Rohproteingehalte der betrachteten Kulturarten in Abhängigkeit von Wasserregime und Düngungsintensität im Mittel der Versuchsjahre.

Nahezu alle betrachteten Faktoren wirken sich in allen Versuchsjahren und im Jahresmittel signifikant auf den Stickstoffhaushalt der Pflanzen aus (Tabelle A7.35 bis A7.37 3 bis 6), wobei wieder festgehalten werden muss, dass die Faktoren Jahr und Fruchtart die stärksten Effekte aufweisen. Die Proteingehalte der Kulturarten (Abbildung 5.7) variieren zwischen 5,4 (Silomais Doge, 'optimal' berechnet, 2005) bis hin zu 14,6% in der Trockenmasse (Sonnenblumen, 'mini-

mal' beregnet, 2006). Ein Trend hinsichtlich der Gehalte kann dahingehend abgelesen werden, dass aufgrund höherer Erträge in den 'optimal' mit Wasser versorgten Varianten ein Verdünnungseffekt stattgefunden hat, welcher zu den niedrigeren Rohproteingehalten der Kulturen führte. Durchschnittlich liegen die Rohproteingehalte in den 'optimal' mit Wasser versorgten Varianten der Silomaissorten um 1,2% niedriger, die Rohproteingehalte der Sonnenblumen bzw. das Gemenge in Kombination mit Mais variieren um 0,7% zwischen den Beregnungsstufen, bei den Sorghumarten Futterhirse und Sudangras um je 0,4% und bei Topinambur sowie Futterrüben weisen mit 2,3 bzw. 1,6% die größten Beregnungsunterschiede auf. Die Jahreseffekte beim Rohproteingehalt sind wesentlich ausgeprägter. Die größten Unterschiede von über 4% können bei der Sonnenblume festgestellt werden (2007, unberegnete Variante, 10,2%; 2006, unberegnete Variante 14,6%). Bei den Silomaissorten kann in den 'optimal' mit Wasser versorgten Varianten ein jahresbedingter Unterschied von durchschnittlich 1,5% festgestellt werden. Im Mittel der Jahre zeigt sich bei Betrachtung der Düngungsstufen, dass mit Ausnahme der 'minimal' mit Wasser versorgten Arten Sudangras, Sonnenblumen und der Maissorte Doge eine zunehmende Düngungsintensität zu einem höheren Rohproteingehalt geführt hat, der sich wiederum bei den 'optimal' mit Wasser versorgten Varianten auf einem niedrigeren Niveau darstellt. Die größten Unterschiede in Abhängigkeit der Düngungsintensität von 2,1% können bei den Futterrüben festgestellt werden. Erneut zeigt sich, dass die getesteten Düngungsvarianten im Vergleich zu den Faktoren Jahr und Kulturart einen geringeren Einfluss auf die Rohproteingehalte ausüben (Abbildung 5.8).

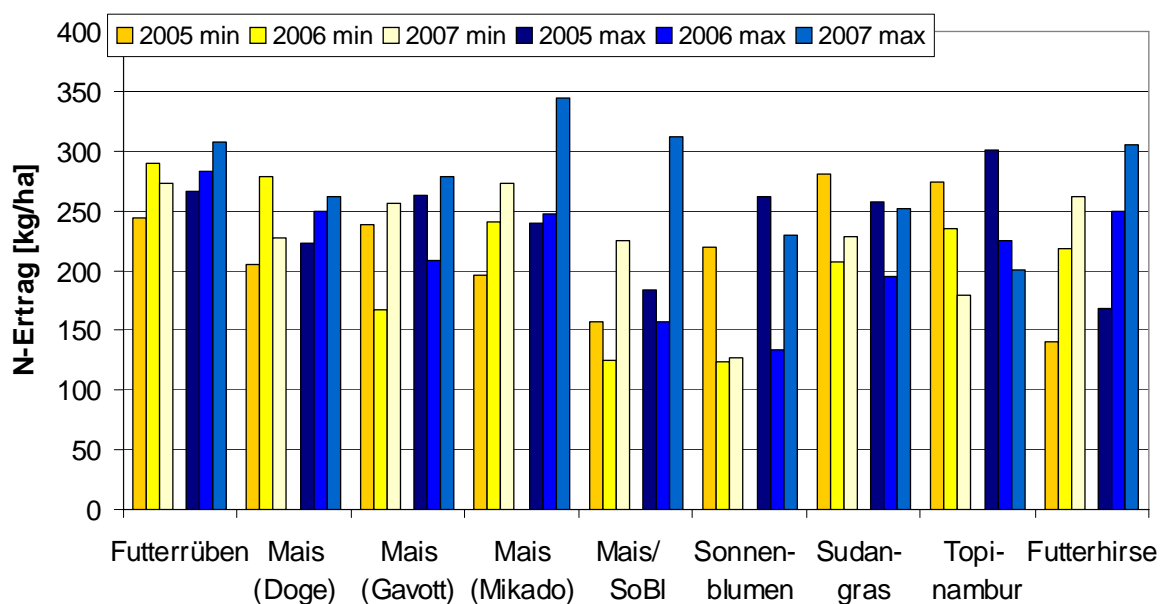


Abbildung 5.9. Stickstofferträge der betrachteten Kulturarten in Abhängigkeit von Wasserregime und Versuchsjahr im Mittel der Düngungsintensitäten.

Nach der Weender Analyse wurden die Rohnährstoffgehalte Rohasche, Rohprotein, Rohfett, Rohfaser und NfE in % der Trockenmasse bestimmt. Die Rohnährstoffgehalte, die im Folgenden ausschließlich im Mittel der Düngungsintensitäten vorgestellt werden, sind Grundlagen, um das Biogas- bzw. Methanbildungsvermögen der unterschiedlichen Kulturen und somit den Energiegehalt sowie die Energieerträge berechnen zu können.

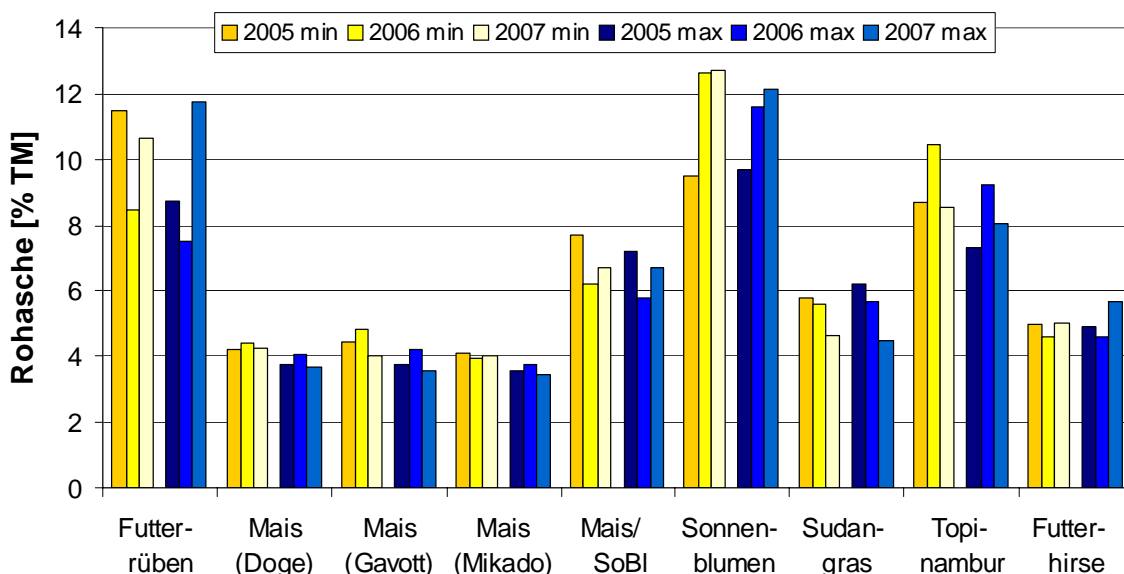


Abbildung 5.10. Rohaschegehalte der betrachteten Kulturarten in Abhängigkeit von Wasserregime und Versuchsjahr im Mittel der Düngungsintensitäten.

Die Rohaschegehalte variieren erheblich zwischen den Fruchtarten (Abbildung 5.10). Die hohen Gehalte bei den Futterrüben (>10%) sind insbesondere der Tatsache geschuldet, dass es sich hierbei um Gesamtpflanzengehalte handelt und die Rübenkörper unterschiedliche Verschmutzungsgrade aufweisen. Ähnlich verhält es sich bei Topinambur. Auch hier wurden die Knollen mit in die Untersuchung einbezogen, anhaftender Boden konnte auch hier nicht komplett abgewaschen werden. Jedoch zeigen sich im Versuchsanbau nur leichte Unterschiede zwischen dem Aschegehalt der Knolle bzw. der oberirdischen Trockenmasse.

Bei der Sonnenblume hingegen zeigt sich naturgemäß ein hoher Rohaschegehalt von bis zu 13%. Im Vergleich zu den Silomaisarten, die alle Rohaschegehalte von <5% aufweisen, zeigen sich die Gehalte bei den anderen C4-Pflanzen Sudangras und Futterhirse um nahezu 3 Prozentpunkte erhöht, bei im Mittel 6 bis 7%.

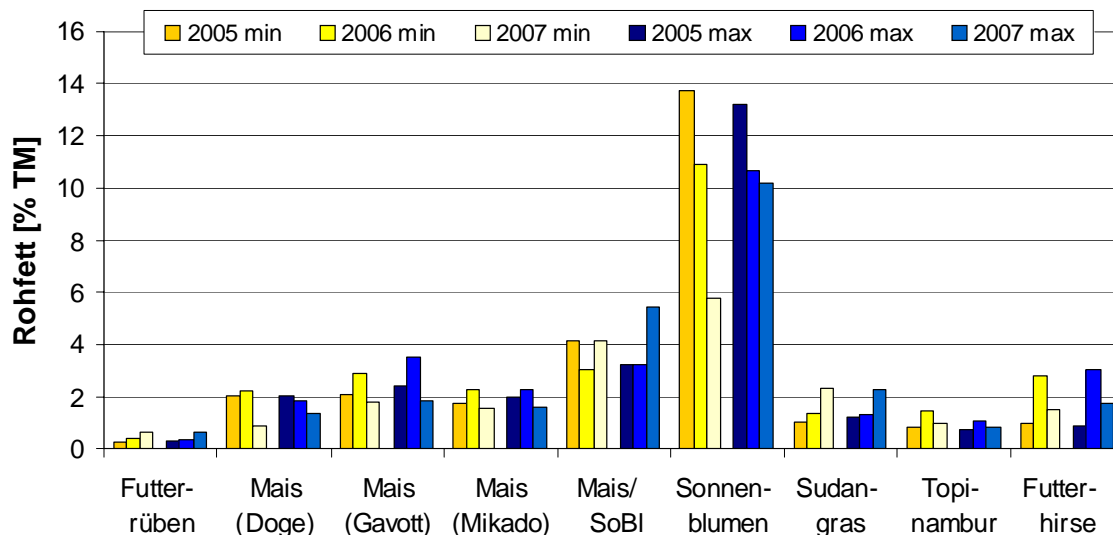


Abbildung 5.11. Rohfettgehalte der betrachteten Kulturarten in Abhängigkeit vom Wasserregime und Versuchsjahr im Mittel der Düngungsintensitäten.

Große kulturartabhängige Unterschiede können auch bei den Rohfettgehalten abgelesen werden (Abbildung 5.11). Naturgemäß zeigt auch hier die Ölpflanze Sonnenblume die höchsten Gehalte (6 bis 14%). Ob die niedrigen Gehalte im Jahr 2007, insbesondere in der 'minimal' mit Wasser versorgten Variante, auf den hohen Krankheitsdruck zurückzuführen sind, kann nicht abschließend geklärt werden. Der Vogelfraß der in jedem Jahr aufgetreten ist und der mit Vogelschutznetzen unterdrückt werden sollte, kann nicht als ausschließlicher Erklärungsgrund herangezogen werden. Die anderen Kulturen weisen wesentlich geringere Gehalte an Rohfett auf, die Futterrüben erreichen knapp die 0,7%. Die höchsten Gehalte beim Mais können bei der Sorte Gavott in der berechneten Variante festgestellt werden (2006; 3,5%), die Futterhirse und das Sudangras in der berechneten Variante erzielen Gehalte von 3,0 bzw. 2,6% und Topinamburgesamtpflanzen maximal 1,4%. Die Rohfaser- und NfE-Gehalte der betrachteten Kulturarten sind in den Abbildung 5.12 und 5.13 dargestellt. Es ist offensichtlich, dass die Futterrüben einen hohen Anteil an NfE aufweisen (2005; opt. berechnete Variante; 79%), wohingegen ihr Rohfasergehalt (6,4%) wesentlich geringer ist als derjenige der anderen Kulturarten. Dies ist ein Indiz für ihren

hohen Gehalt an leicht vergärbaren Kohlenhydraten, die in den anderen bei der Weender Analyse betrachteten Fraktionen keine Berücksichtigung finden.

Als weitere Kulturart, die ebenfalls einen hohen Anteil an leicht vergärbaren Substanzen - in diesem Fall Stärke – aufweisen, gelten die Maissorten, die NfE-Gehalte von 65% im Mittel der berechneten und 63% im Mittel der 'minimal' berechneten Variante aufweisen. Die Sonnenblumen und das Mais-Sonnenblumen-Gemenge weisen dagegen die niedrigsten Gehalte an NfE (39%) auf. Dagegen zeigen die beiden zuletzt beschriebenen Kulturarten einen hohen Rohfasergehalt von im Mittel 24,5%, wobei insbesondere der hohe Gehalt im letzten Versuchsjahr zu beachten ist, der mit 33% sicherlich zum Teil auf das krankheitsbedingte rasante Absterben der Kultur zurückzuführen ist. Topinambur, Futterhirse und Sudangras liegen im NfE-Gehalt etwa auf gleichem Niveau (60%), wobei die Sorghumarten jedoch ein erheblich höheren Rohfasergehalt aufweisen (26%) als Topinambur (20%).

Insgesamt kann bei der Betrachtung der Gehalte an Rohnährstoffen nach der Weender Analyse festgehalten werden, dass es Unterschiede zwischen den einzelnen Versuchsjahren, den untersuchten Kulturarten und der Berechnungs- bzw. der Düngungsintensität (nicht gezeigt) gibt. Mit Ausnahme des Faktors Kulturart kann hinsichtlich der Effekte einzelner Faktoren kein einheitlicher Trend abgelesen werden.

Aus den vorgestellten Ergebnissen der Weender Analyse wurden die **Biogas-** bzw. **Methanausbeuten** errechnet. Der DLG-Futterwerttabelle für Wiederkäuer (1997) wurde die Verdaulichkeit der einzelnen Rohnährstoffe entsprechend der phänologischen Entwicklung der geernteten Pflanzen entnommen und entsprechend der Annahme verrechnet, dass während des Abbauprozesses von Eiweiß 650, von Fett 1125 und aus Kohlenhydraten 750 L Biogas/kg oTM gebildet werden. Aus den Methangehalten von 70,5, 72,5 und 52,5% der entsprechenden Inhaltsstoffe kann weiterhin die Methanausbeute und darüber hinaus der Methan-Ertrag pro Flächeneinheit errechnet werden.

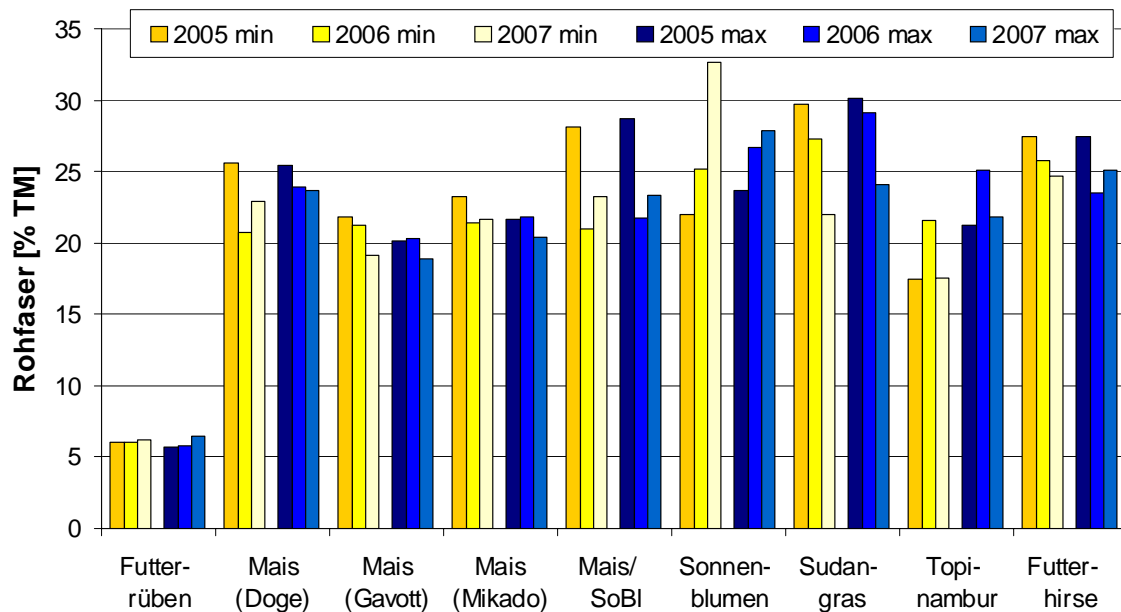


Abbildung 5.12. Rohfasergehalte der betrachteten Kulturarten in Abhängigkeit von Wasserregime und Versuchsjahr im Mittel der Düngungsintensitäten.

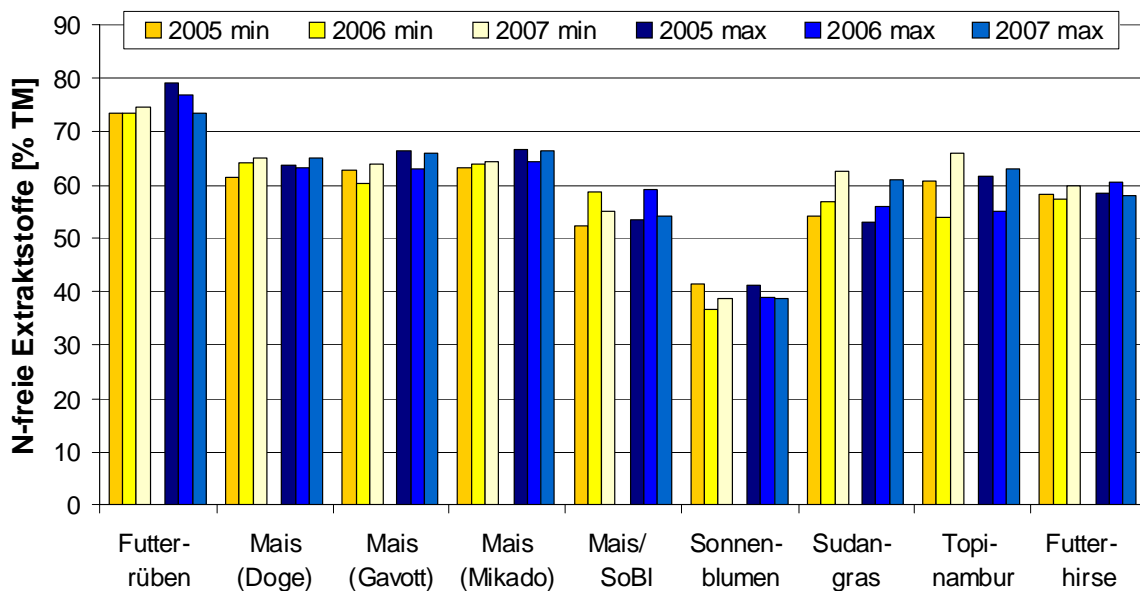


Abbildung 5.13. NfE-Gehalte der betrachteten Kulturarten in Abhängigkeit von Wasserregime und Versuchsjahr im Mittel der Düngungsintensitäten.

Der Faktor Beregnung zeigt hinsichtlich der Ausbeuten keinen statistisch absicherbaren Einfluss, ebenso wenig wie die Interaktionen Düngung x Jahr und Düngung x Beregnung. Auch die Interaktion Art x Düngung sowie die Interakti-



on mit der Beregnung weisen keine signifikanten Unterschiede auf. Hinsichtlich der Biogasausbeute zeigen sich die größten Unterschiede zwischen den Jahren innerhalb einer Beregnungsstufe bei der Futterhirse in Höhe von ca.  $90 \text{ L kg}^{-1} \text{ oTM}$ , wohingegen sich die Unterschiede vor allem bei den Silomaisarten nahezu vernachlässigen lassen. Auch die Unterschiede zwischen den einzelnen Sorten sind nicht eminent, die Ausbeuten liegen im Durchschnitt bei  $548 \text{ L kg}^{-1} \text{ oTM}$ .

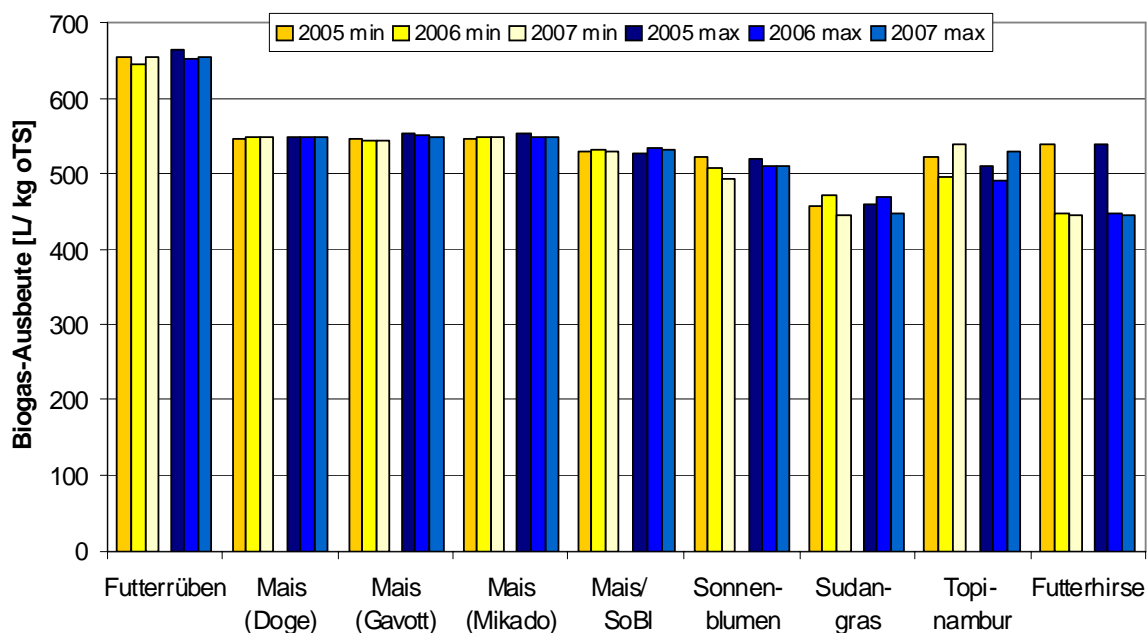


Abbildung 5.14. Biogasausbeuten der untersuchten Kulturarten in Abhängigkeit der Beregnung und der Versuchsjahre im Mittel der Düngungsintensität.

Der nicht signifikante Einfluss der Beregnung auf die Ausbeute ist ebenfalls offensichtlich angesichts der nahezu identischen Ausbeuten, die sich zum Beispiel bei den Maissorten auf durchschnittlich  $4 \text{ L kg}^{-1} \text{ oTM}$  belaufen. Auch die Düngung zeigt in keiner Weise einen absicherbaren Einfluss auf die Biogasausbeuten der einzelnen Kulturen (Abbildung 5.15). Es bleibt festzuhalten, dass die Futterrüben die höchsten Ausbeuten erzielen ( $655 \text{ L kg}^{-1} \text{ oTM}$ ) gefolgt von den Silomaisarten ( $548 \text{ L kg}^{-1} \text{ oTM}$ ) und dem Mais-Sonnenblumen-Gemenge ( $530 \text{ L kg}^{-1} \text{ oTM}$ ), Topinambur ( $515 \text{ L kg}^{-1} \text{ oTM}$ ), Sonnenblumen ( $510 \text{ L kg}^{-1} \text{ oTM}$ ), Futterhirse ( $478 \text{ L kg}^{-1} \text{ oTM}$ ) und Sudangras ( $459 \text{ L kg}^{-1} \text{ oTM}$ ). Die berechneten Methanausbeuten können der Abbildung 5.16 entnommen werden. Insgesamt wurde ein durchschnittlicher Methangehalt von 55% (57% bei Sonnenblumen) errechnet.

Die **Methanausbeuten** liegen bei den Silomaissorten knapp unter  $300 \text{ L CH}_4 \text{ kg}^{-1} \text{ oTM}$ , eine Ausbeute, die auch die Sonnenblumen im Einzel- bzw. Gemenge-Anbau nahezu erreichen. Die Futterrüben erreichen die höchsten Ausbeuten von  $350 \text{ L CH}_4 \text{ kg}^{-1} \text{ oTM}$ , während die niedrigsten durch Futterhirse und Sudangras erzielt werden ( $260$  bzw.  $249 \text{ L CH}_4 \text{ kg}^{-1} \text{ oTM}$ ). Bei Futterrüben und den Silomaissorten sind absolut unbedeutende Unterschiede in Abhängigkeit der Beregnungsintensität bzw. des Versuchsjahres in der Methanausbeute festzustellen. Bei den Sonnenblumen zeigt sich eine stetig abnehmende Ausbeute im Verlauf des Versuchs (beregnete Variante:  $304$  bis  $276 \text{ L CH}_4 \text{ kg}^{-1} \text{ oTM}$ , unberegnete Variante:  $301$  bis  $290 \text{ L CH}_4 \text{ kg}^{-1} \text{ oTM}$ ). Im Jahr 2006 können im Vergleich der anderen Versuchsjahre beim Sudangras die höchsten ( $256$  bzw.  $254 \text{ L CH}_4 \text{ kg}^{-1} \text{ oTM}$ ) und beim Topinambur die geringsten Ausbeuten ( $274$  bzw.  $268 \text{ L CH}_4 \text{ kg}^{-1} \text{ oTM}$ ) errechnet werden. Wie bereits erwähnt sind die Unterschiede jedoch statistisch nicht absicherbar.

Aus den berechneten Biogas- bzw. Methanausbeuten kann durch Multiplikation mit dem Ertrag an organischer Trockenmasse der **Biogas-** bzw. **Methanertrag** der Kulturen bestimmt werden. Wieder einmal zeigt die statistische Auswertung der Biogaserträge im Mittel der Versuchsjahre einen signifikanten Einfluss jedes untersuchten Faktors als Haupteffekt und in Wechselwirkung.

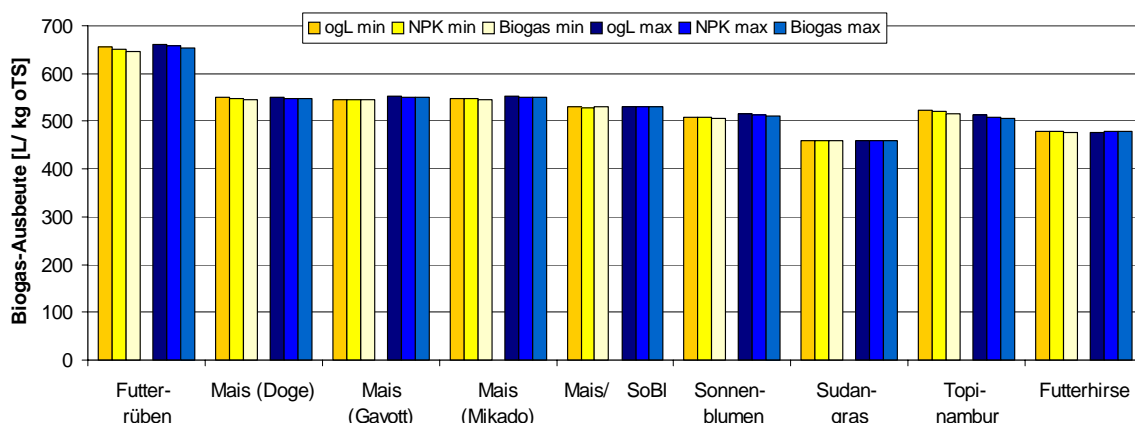


Abbildung 5.15. Biogasausbeuten der untersuchten Kulturarten in Abhängigkeit von Wasserregime und Düngungsintensität im Mittel der Versuchsjahre.

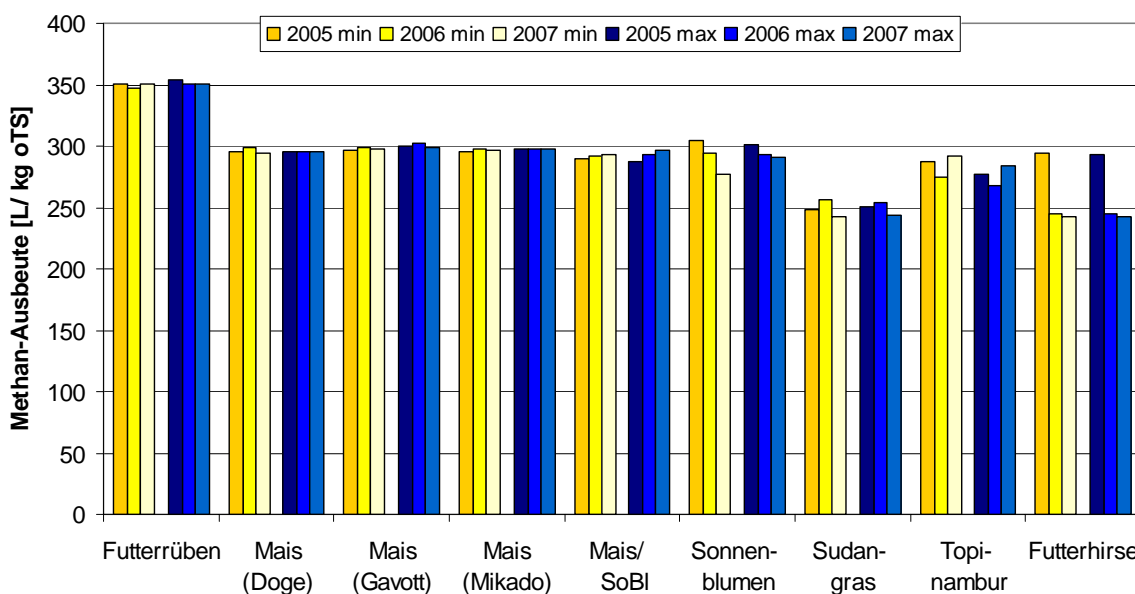


Abbildung 5.16. Methanausbeuten der untersuchten Kulturarten in Abhängigkeit von Wasserregime und Versuchsjahr im Mittel der Düngungsintensität.

Abbildung 5.17 und 5.18 zeigen zum einen die berechneten Biogaserträge im Mittel der Düngungsvarianten bzw. im Mittel der Versuchsjahre. Es kann festgehalten werden, dass die Faktoren Kulturart und Versuchsjahr einen erheblich höheren Einfluss auf die Biogaserträge ausüben als die hier eingesetzten Düngungsvarianten, bei denen die größten Unterschiede im Bereich von  $1\ 000\ \text{m}^3\ \text{ha}^{-1}$  bei den Kulturarten Sonnenblumen, Sudangras und Mais Mikado in der 'optimal' berechneten Variante festzustellen sind (Abbildung 5.18). Die Biogaserträge der Kulturarten variieren in der 'optimal' mit Wasser versorgten Variante zwischen  $3\ 129\ \text{m}^3\ \text{ha}^{-1}$  bei Sonnenblume im Jahr 2006 und  $16\ 288\ \text{m}^3\ \text{ha}^{-1}$  bei den Futterrüben im Jahr 2005. In der 'minimal' mit Wasser versorgten

Variante können Biogaserträge von 2 365 (Sonnenblume, 2006) und 12 831 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> (Futterrübe, 2005) erzielt werden (Abbildung 5.17).

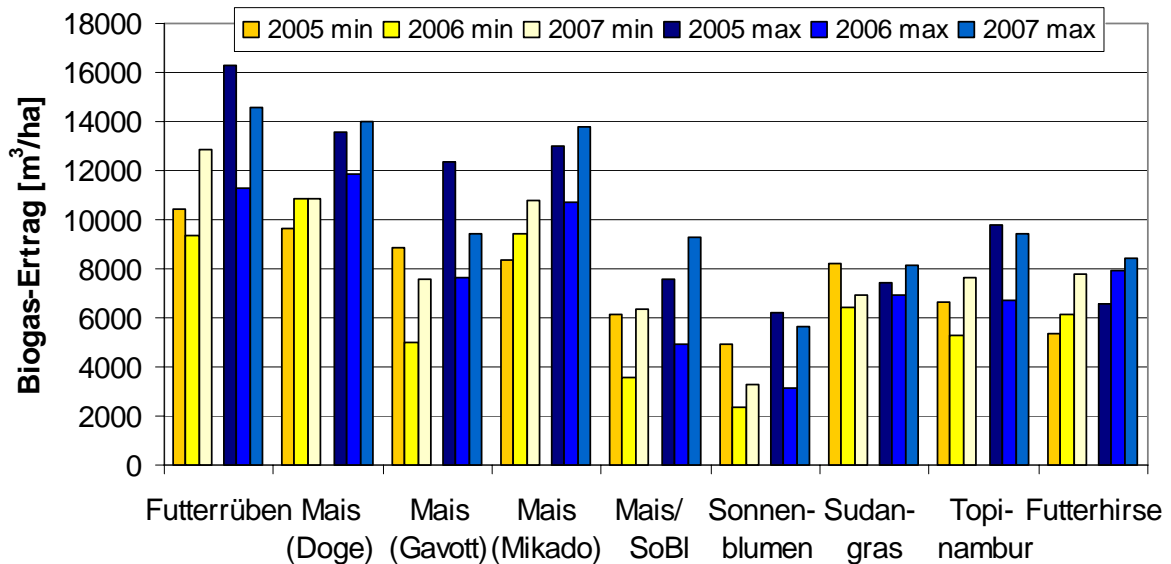


Abbildung 5.17. Biogasertrag der untersuchten Kulturarten in Abhängigkeit von Wasserregime und Versuchsjahr im Mittel der Düngungsintensität.

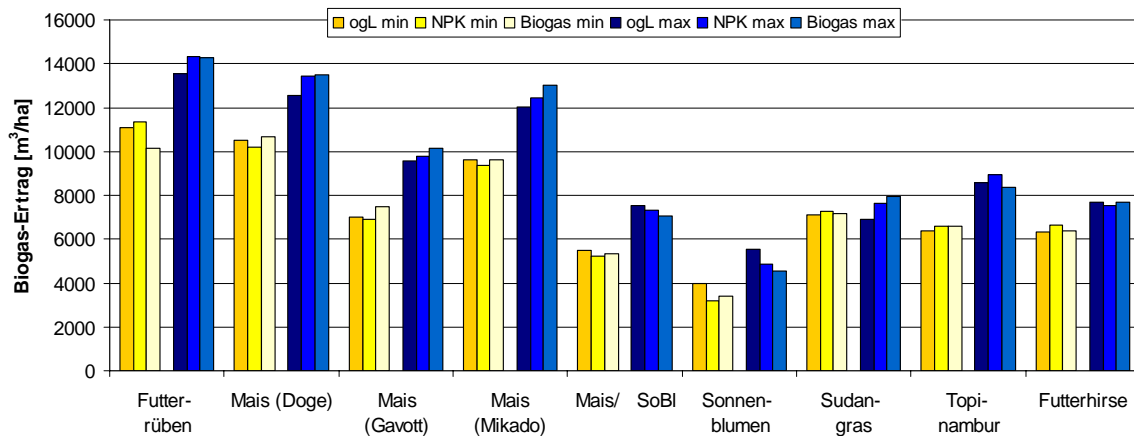


Abbildung 5.18. Biogasertrag der untersuchten Kulturarten in Abhängigkeit von Wasserregime und Düngungsintensität im Mittel der Versuchsjahre.

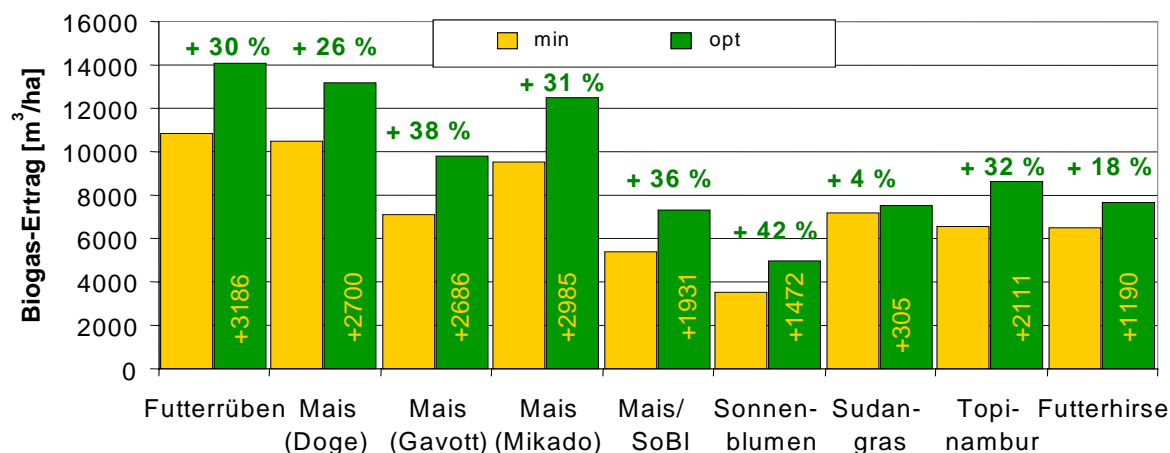


Abbildung 5.19. Biogasertrag der betrachteten Kulturarten in Abhängigkeit von Wasserregime im Mittel der Versuchsjahre und Düngungsintensitäten.

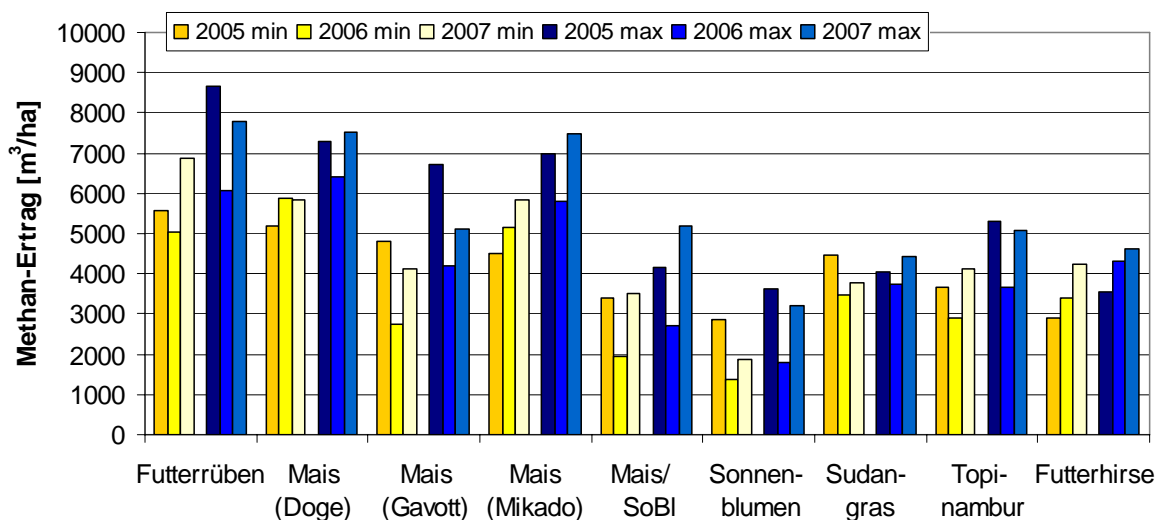


Abbildung 5.20. Methanertrag der untersuchten Kulturarten in Abhängigkeit der Beregnung und Versuchsjahre im Mittel der Versuchsjahre und der Düngungsintensitäten.

Im Mittel der Versuchsjahre und der Düngungsintensitäten zeigt sich, dass durch die Bewässerung ein Biogasmehrertrag von bis zu  $3.186 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$  bei den Futterrüben erreicht werden kann. Dies entspricht einer relativen Ertragssteigerung von 30%. Das Sudangras kann zusätzliches Wasser nur bedingt in Mehretrag umsetzen ( $305 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ , 4%), während die frühe Maissorte Gavott  $2.700 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$  mehr (+38%) erzielt. Die höchsten relativen Steigerungen können

bei der Sonnenblume festgestellt werden, die Erträge liegen jedoch auf dem niedrigsten Niveau (3.522 bis 4.994 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>) der hier untersuchten Kulturarten.

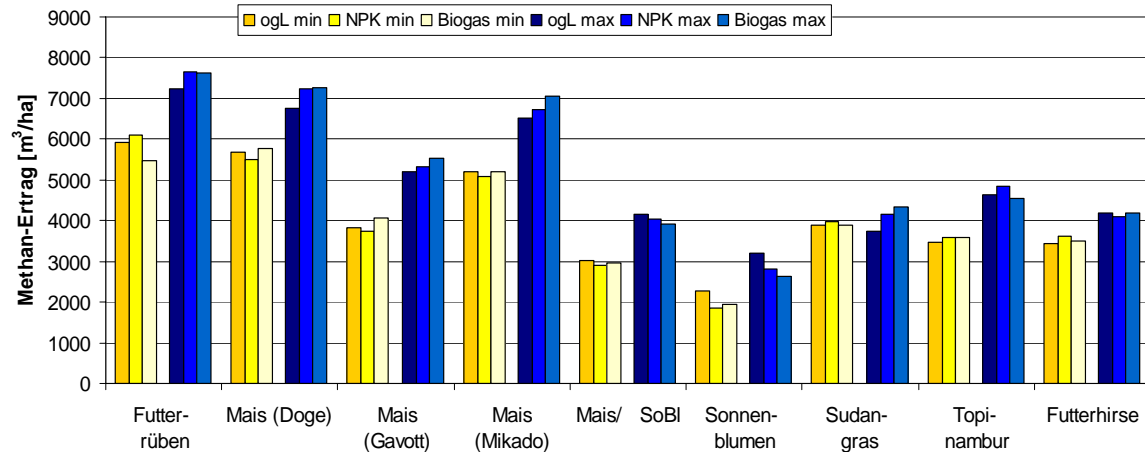


Abbildung 5.21. Methanertrag der untersuchten Kulturarten in Abhängigkeit von Wasserregime und Düngungsintensität im Mittel der Versuchsjahre.

Um die Eignung verschiedener Kulturarten hinsichtlich ihres Energieertrages einordnen zu können, bedarf es der Darstellung der Methanerträge. Die Methanerträge stehen durch den einheitlichen Methangehalt des Probenmaterials in einem engen Zusammenhang zu den Biogaserträgen. Dieselben Beziehungen und die gleichgerichteten Einflüsse der Faktoren stellen sich dar, wie es auch beim Biogasertrag beschrieben wurde. Die Futterrüben erzielen die höchsten Methanerträge in Höhe von bis zu 8.682 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> (2005, 'optimal' beregnet), gefolgt von Mais Doge und Mais Mikado (2007, 'optimal' beregnet: 7.535 bzw. 7.475 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>), frühem Silomais Gavott (2005, opt. beregnet: 6.703 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>) und Topinambur (2005, opt. beregnet: 5.304 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>). Die niedrigsten Erträge werden von den Sonnenblumen (1.373 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>), dem Sonnenblumen-Mais-Gemenge (1.950 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>) und der frühen Silomaissorte Gavott (2.736 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>) in der unberechneten Variante des Jahres 2006 erzielt (Abbildung 5.20). Unterschiede im Methanertrag die auf die Düngung zurückzuführen sind, belaufen sich auf max. 537 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> ('optimal' berechnete Variante, Mais Mikado), wobei die Erträge mit zunehmender Düngungsintensität bei Mais, Sudangras und Futterrüben steigen, bei Sonnenblumen, Sonnenblumen/Mais Gemenge sinken und sich bei Topinambur und Futterhirse uneinheitlich darstellen (Abbildung 5.21).

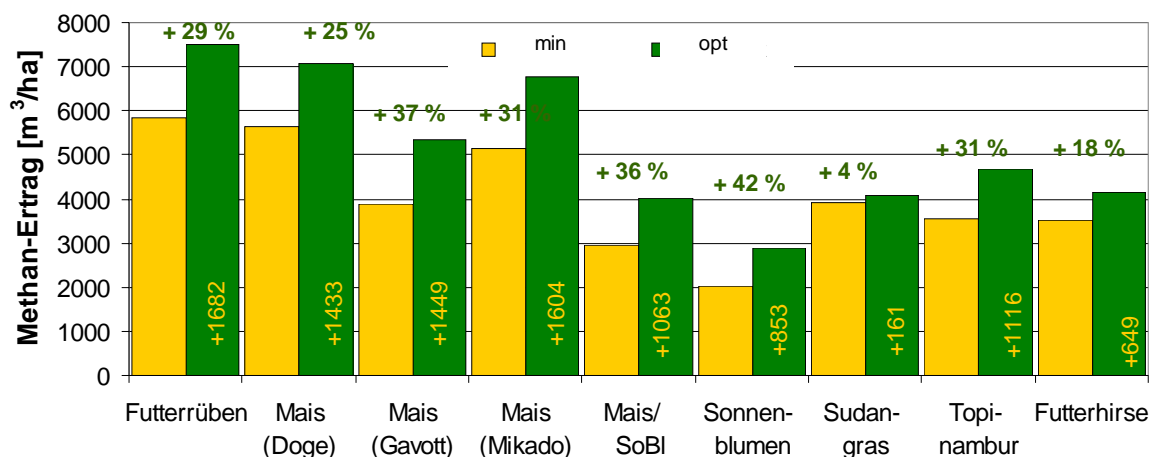


Abbildung 5.22. Methanertrag der untersuchten Kulturarten in Abhängigkeit von Wasserregime im Mittel der Versuchsjahre und Düngungsintensitäten.

Auch beim Methanertrag führt eine zusätzliche Beregnung zu einer Ertragssteigerung, die im Mittel der Kulturarten bei 28% liegt. Die größten absoluten Zuwächse realisieren wiederum die Futterrüben mit  $1.682 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$  und die Mais-sorte Mikado mit  $1.604 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ . Von den späten Silomaisarten und den Futterrüben können unter optimalen Wachstumsbedingungen Methanerträge nahe  $7.000 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$  erzielt werden. Nach Futterrüben und Mais erreicht Topinambur in der berechneten Variante die höchsten Erträge ( $4.675 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ ), gefolgt von den Sorghumhirsen mit im Mittel  $4.120 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ . Die Sonnenblumen im Einzel- bzw. Gemengeanbau realisieren dagegen nur ca.  $2.877 \text{ m}^3 \text{ Methan ha}^{-1}$ .

Bei Betrachtung der Methanerträge zeigt sich wieder einmal die Vorzüglichkeit der Kulturarten Futterrüben und Mais, die sich auch schon beim Trockenmasse-Ertrag abzeichnete. Belegt wird dieses durch die Abbildung 5.23, in der die Trockenmasseerträge in Relation zu den Methanerträgen abgebildet sind. Im Mittel der Jahre zeigt sich bei jeder Düngungsvariante und in jedem Beregnungsregime, dass eine enge Beziehung besteht zwischen dem Trockenmasseertrag und dem realisierbaren Energieertrag, der nicht oder nur in geringem Maße durch die unterschiedlichen Gehalte verschiedenster Qualitätsparameter beeinflusst wird.

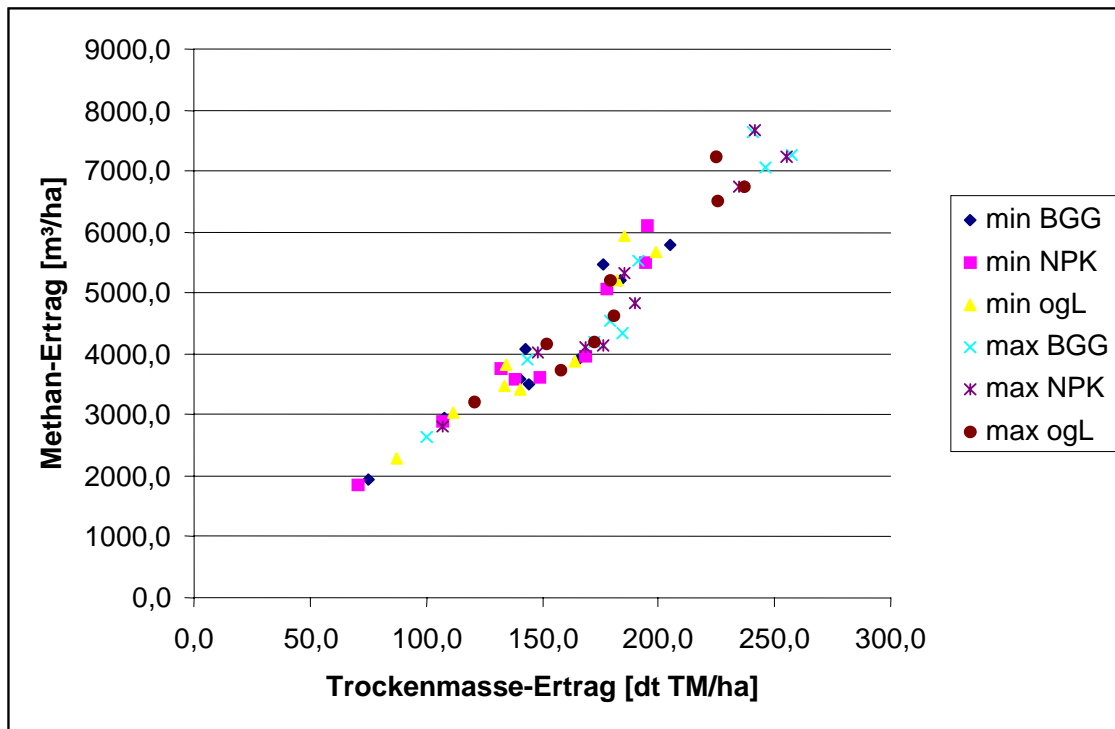


Abbildung 5.23. Zusammenhang zwischen Trockenmasse- und Methanertrag in Abhängigkeit der Düngungsintensität im Mittel der Versuchsjahre.

Als Ergänzung zu den agronomischen bzw. den qualitätsorientierten Parametern wurden die erhobenen Daten einer **ökonomischen Bewertung** unterzogen, die einen Aufschluss über die ökonomische Berechnungswürdigkeit der unterschiedlichen Kulturarten bringen soll. Der zusätzliche Wasserverbrauch in mm je dt zusätzlicher Trockenmasse wurde dabei als Maßzahl für die ökonomische Bewertung der Bewässerungswürdigkeit herangezogen. Die Summe der fixen und variablen Kosten je mm Beregnung liegt dabei in einem praxisüblichen System mit Bewässerungskanone bei  $2,65 \text{ € mm}^{-1}$ , mit Rohrberegnung bei  $3,75 \text{ € mm}^{-1}$ . Unter Annahme, dass 1 dt Frischmasse  $2,10 \text{ €}$  wert ist ergibt sich, dass pro mm zusätzlicher Bewässerung mindestens  $0,38$  bzw.  $0,53$  dt TM bei Einsatz von Beregnungskanone bzw. Rohrberegnung zusätzlich geerntet werden müssen, damit die Beregnung wirtschaftlich ist. Im Jahr 2005 ergaben sich daraus rentable Mehrerträge durch die Beregnung bei Futterrüben, Mais, Sonnenblumen und Topinambur in den unterschiedlichsten Düngungsintensitäten. Im Jahr 2006 war darüber hinaus die Beregnung der Futterhirse als gewinnbringend anzusehen. Auch im Jahr 2007 zeigte sich in den angegebenen Kulturen ein gewinnbringender Mehrertrag durch die Beregnung.



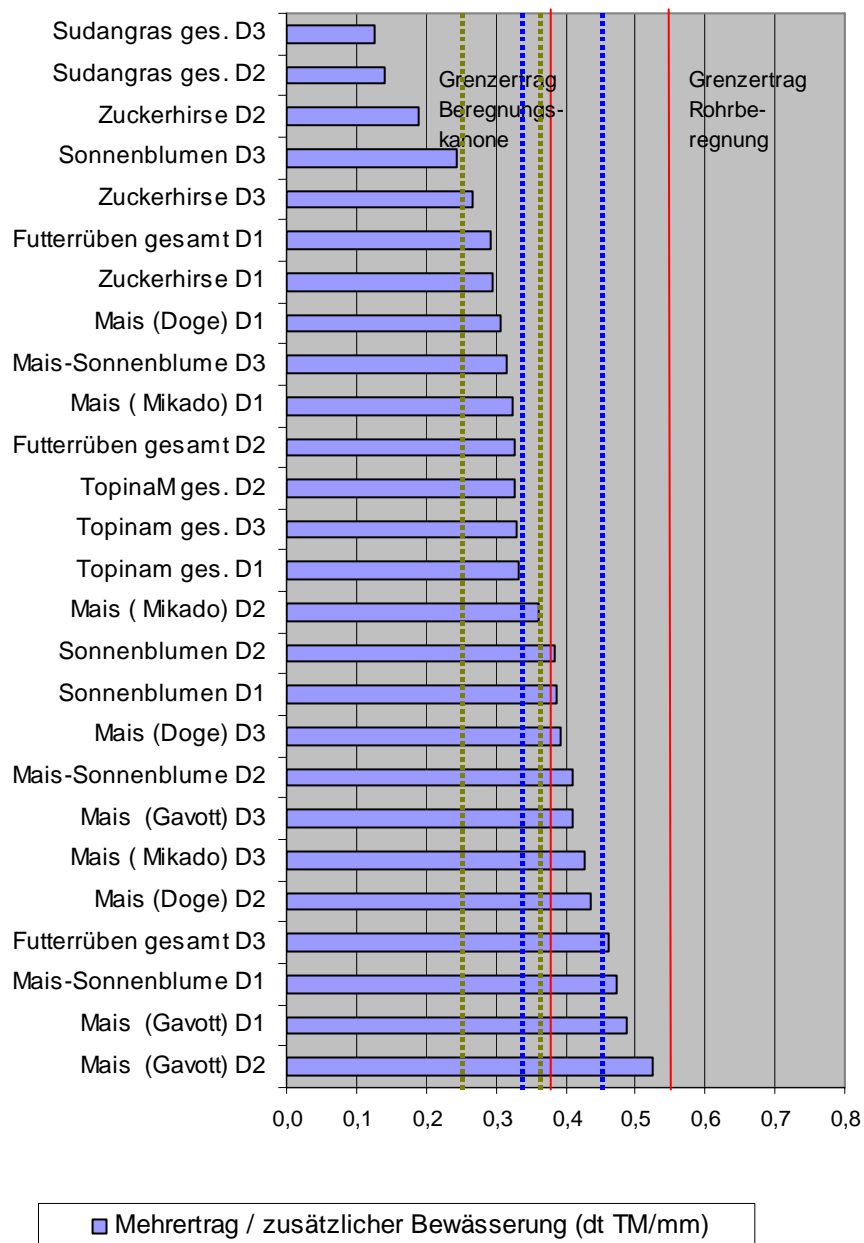


Abbildung 5.24. Trockenmassemehrertrag pro mm zusätzlicher Beregnung zwischen den optimal und minimal bewässerten Varianten im Jahresmittel (rot: Grenzertrag Beregnungskanone bzw. Rohrberegnung bei 2,10 € Substratpreis und 0,15 € pro kWh Stromkosten; grün: 3,30 € Substratpreis und 0,15 € pro kWh Stromkosten; blau: 3,30 € Substratpreis und 0,30 € pro kWh Stromkosten).

Im Mittel der Versuchsjahre dagegen stellt sich heraus, dass unter den angegebenen Nebenbedingungen nur die Maissorte Gavott, Futterrüben und Mais/Sonnenblumen Gemenge einen rentablen Mehrertrag durch die zusätzliche Wasserversorgung mit der Beregnungskanone realisieren können, keine Kulturart weist in dieser Betrachtung einen rentablen Mehrertrag durch die Rohrberegnung auf. Bei dieser Bewertung muss jedoch der angesetzte Sub-

stratpreis mit Berücksichtigung finden. Im Zuge steigender Preise ergeben sich bei gegebenen Kosten niedrigere Grenzerträge die folgerichtig die Beregnung weiterer Kulturen rentabel machen. In Abbildung 5.24 sind die Grenzerträge bei einem eventuellen Substratpreis von  $3,3 \text{ € dt}^{-1}$  FM in grün dargestellt. Zeitgleich steigen jedoch auch die Energiekosten und hier vor allem die Stromkosten, die wiederum insgesamt die Kosten der Beregnung pro eingesetztem mm erhöhen. Bei einer Verdopplung des Strompreises und den erhöhten Substratpreisen ergibt nach dieser Berechnung also wieder eine Annäherung der Rentabilität zu der bereits beschriebenen Ausgangssituation (blau). Die Rentabilität der Beregnung hängt also in erheblichem Maße von den Nebenbedingungen ab, d.h. insbesondere vom erzielbaren Substratpreis und den Kosten für die einzusetzende Energie. In jedem Fall aber zeigt sich, dass auch die Beregnung von Energiepflanzen vor allem im Hinblick auf steigende Substratpreise ein Instrument darstellt, einen höheren ökonomischen Gewinn zu erzielen.

In der **Zusammenfassung** der Ergebnisse ist festzustellen, dass im Rheingraben Silomais und Futterrüben die ertragsstärksten Kulturen sind. Diese beiden Kulturen konnten sowohl den höchsten Trockenmasse- als auch Energieertrag realisieren, da ebenfalls gezeigt werden konnte, dass diese beiden Parameter in einem engen Verhältnis zueinander stehen. Trotz der unterschiedlichen Inhaltsstoffzusammensetzung, die in erheblichem Maße von der Kulturart beeinflusst wird, konnten keine daraus resultierenden Änderungen hinsichtlich des Methanertrages festgestellt werden. Auf die Problematik der rechnerisch ermittelten Methanausbeuten wurde bereits im Gliederungspunkt 1.4 (S. 9) hingewiesen. Auch wenn die absolute Höhe nicht genau mit den realisierbaren Ausbeuten übereinstimmt, so kann doch das Verhältnis der Erträge zwischen den hier untersuchten Kulturarten dargestellt werden. Mit Futterrüben und Silomais können die anderen betrachteten Kulturen im Ertrag nur bedingt mithalten. Zu beachten ist jedoch, dass die Sorghumhirsen unter trockenen Bedingungen Energieerträge erzielen können, die mit frühem Silomais vergleichbar sind. Unter Berücksichtigung der züchterischen Bearbeitung von Silomaisarten und den noch relativ neuen, unbearbeiteten Arten ergeben sich eventuelle Perspektiven, die für eine Annäherung der entsprechenden Erträge sprechen. Der großflächige Einsatz der Energieproduktion aus Futterrüben, der sich durch die hohen Erträge anbietet, wird momentan noch durch den hohen Verschmutzungsgrad behindert, der zu technischen Problemen im Biogasanlagenbetrieb führen kann. Neueste Entwicklungen gehen davon aus, dass sich durch ihre hervorragenden Gäreigenschaften bald die mobile Rübenwäsche etablieren wird. In dieser Untersuchung zeigen die Sonnenblumen die geringsten Erfolgsaussichten als Alternative zu Mais in der Biomasseproduktion großflächig angebaut zu werden, dabei sprechen die hohen Fettgehalte eigentlich für eine

optimale Eignung. Bei den eingesetzten Sorten war dagegen das Problem zu beobachten, dass die Pflanzen zu früh abstarben, dadurch zu hohe Rohfasergehalte aufwiesen, welche die positiven Effekte der Fettgehalte wieder umkehrten. Neue Sortenzüchtungen, speziell für den Einsatz in Biogasanlagen, lassen hier auf bessere Anbaueignung hoffen. Als Ergebnis bleibt außerdem festzuhalten, dass die Beregnung in jedem Fall zu einer Ertragssteigerung hinsichtlich Trockenmasse und Energie geführt hat, die sich in Abhängigkeit der erzielbaren Substratpreise und eingesetzten Energiekosten auch ökonomisch rechnete. Unter der Voraussetzung, dass Wasser in ökologisch sinnvollem Maße eingesetzt wird, wird die Zusatzbewässerung eine immer größere Rolle spielen und in immer mehr Kulturen eingesetzt werden, um die Risiken der witterungsbedingten Ertragsschwankungen auffangen zu können. Gerade vor dem Aspekt der vorhergesagten Klimaänderungen mit den ausbleibenden Sommerniederschlägen wird es darüber hinaus in Deutschland immer mehr bewässerungswürdige Regionen geben.

Neben dem Einfluss der Kulturart und der Beregnung auf den Energieertrag konnten in dieser Untersuchung geringe Auswirkungen der untersuchten Düngungsvarianten, jedoch ein erheblicher Effekt des Versuchsjahres festgestellt werden. Dieses lag zum großen Teil an den unterschiedlich vorherrschenden Witterungsbedingungen. Durch den großen Einfluss des Faktors Jahr lassen sich somit keine allgemein gültigen Aussagen bezüglich der Bewässerungswürdigkeit von Energiepflanzen treffen, als zentrales Ergebnis bleibt jedoch festzuhalten, dass sich die Beregnung in den allermeisten Fällen auch bei Energiepflanzen lohnt und dass unterschiedlichste Kulturarten das Potenzial besitzen bei ausreichender Fokussierung auf die Biomasseproduktion neben Mais, der momentan noch unerreichbar ist, als gleichwertige Energiepflanze in einer Fruchtfolge zu stehen.

## 6. Literatur

- Andrews, D.J., Kassam, A.H. 1976. The importance of multiple cropping in increasing world food supplies. p. 1-10. In: Papendick, R.I., Sanchez, A., Triplett, G.B. (eds.) Multiple cropping. ASA Special Publication 27. Am. Soc. Agron., Madison, WI.
- Aufhammer, W. 1999. Mischanbau von Getreide- und anderen Körnerfruchtarten. Ein Beitrag zur Nutzung der Biodiversität im Pflanzenbau, Stuttgart.
- Degenhardt, H. 2005. Optimierung des Biogasertrages durch angepasste Maissorten und richtiges Anbaumanagement. International Energy Farming Congress, 2.-4. März 2005, Papenburg.
- DLG. 1997. DLG-Futterwerttabellen: Wiederkäuer. Hrsg.: Universität Hohenheim. Dokumentationsstelle. 7., erw. und überarb. Aufl. – Frankfurt am Main, DLG-Verlag.
- Ehlers, W. 1997. Zum Transpirationskoeffizienten von Kulturpflanzen unter Feldbedingungen. Pflanzenbauwissenschaften 1: 97-108.
- Farré, I., Faci, J.M. 2006. Comparative response of maize (*Zea mays* L.) and sorghum (*Sorghum bicolor* L. Moench) to deficit irrigation in a Mediterranean environment. Agricultural Water Management 83: 135-143.
- Geisler, G. 1988. Pflanzenbau. Ein Lehrbuch - Biologische Grundlagen und Techniken der Pflanzenproduktion. Verlag Paul Parey. Berlin, Hamburg.
- Günther, R. 2003. Zur Wasserausnutzung landwirtschaftlicher und gärtnerischer Kulturen. Tagungsband 10. Gumpensteiner Lysimetertagung, 29./30.04.2003, Bundesanstalt für alpenländische Landwirtschaft Gumpenstein, Irnding, S. 85-90.
- Grant, R.F., Jackson, B.S., Kiniry, J.R., Arkin, G.F. 1989. Water deficit timing effects on yield components in maize. Agron. J. 81: 61-65.
- Grass, R. 2007. Es muss nicht immer Mais sein. Neue Landwirtschaft 3-2007: 76-82.
- Groß, A. 2006. Erfahrungen und Erkenntnisse aus dem Mischanbau mit Mais und Sonnenblume für Biogas. Tagungsband der 3. Norddeutschen Biogastagung vom 19. bis 21.5.2006 in Hildesheim.
- Hoffmann, H., Borgman, J., Hahn, J. 2005. Neue Anbaumethoden und alternative Kulturpflanzen im Pflanzenbau – Entwicklungsstand und Potenziale. Humboldt-Universität zu Berlin, Landwirtschaftlich-Gärtnerische Fakultät, Institut für Pflanzenbauwissenschaften.
- Karpenstein-Machan, M. 2005. Energiepflanzenbau für Biogasanlagenbetreiber. DLG Verlag, Frankfurt am Main, 89-112.

- Landbeck, M., Schmidt, W. 2005. Energiemais – Ziele, Strategien und erste Züchtungserfolge. International Energy Farming Congress, 2.-4. März 2005, Papeburg.
- Löpmeier, F.-J. 2007. Agrarmeteorologische Forschung des Deutschen Wetterdienstes, Braunschweig.
- Muchow, R.C. 1989. Comparative productivity of maize, sorghum and pearl millet in a semi-arid tropical environment. II. Effect of water deficits. *Field Crops Res.* 20: 207-219.
- Schattauer, A., Weiland, P. 2004. Grundlagen der anaeroben Fermentation. In: Handreichung Biogasgewinnung und –nutzung. Herausgeber: Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V., Gülzow, S. 25-35.
- Schittenhelm, S., Toews, T. 2007. Lohnt sich die Beregnung. *DLG-Mitteilungen* 10/2007: 44-47.
- Schittenhelm, S., Hufnagel, J., Arman, B., Toews, T. 2007. Zusatzwasser für Energiepflanzen. *Neue Landwirtschaft* 10/2007: 46-48.
- Schittenhelm, S., Hufnagel, J., Arman, B., Kruse, S., Toews, T. 2008. Wasser für Energiepflanzen. *DLZ Agrarmagazin* 4/2008: 50-55.
- Singh, B.R., Singh, D.P. 1995. Agronomic and physiological responses of sorghum maize and pearl millet to irrigation. *Field Crops Res.* 42: 57-67.
- Toews, T., Schittenhelm, S. 2008. Wirtschaftlichkeitsanalyse eines dreijährigen Versuchs zur Bewässerung von Biogasmals. *Neue Landwirtschaft* 4/2008.
- Trenbath, B.R. 1976. Plant interactions in mixed crop communities. In: Papendick, R.I., Sanchez, P.A., Triplett, G.B. (eds.). *Multiple cropping*. American Society of Agronomy, Special Publication 27, Madison, S. 129–169.
- Vandermeer, J. 1989. *The ecology of intercropping*. Cambridge University Press, New York.
- Wienforth, B., Schittenhelm, S., Wulkau, S., Herrmann, A., Sieling, K., Taube F., Kage, H. 2008. Site adapted choice of energy crops for methane production – Model based analysis of drought limitations on maize yield potential. *Ital. J. Agron.* 3 Suppl., 497-498.

## 7 Anhang

Tabelle A7.1. Anbaudaten für den Bewässerungsversuch mit Energiemais in Braunschweig 2005.

Vorfrucht	Art	Mais
Bodenbearbeitung	Gerät	Dreischarpflug (Rabe & Specht; 25 cm tief am 20.4.2005). Kreiselgrubber (Amazone KG251; 6 cm tief am 26.4.2005)
Grunddüngung	Gerät	RAUCH Aero 2215
	Menge	700 kg Thomaskali pro Hektar (7% P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> , 21% K <sub>2</sub> O, 3% MgO) Reinnährstoffe: 21,4 kg/ha P, 122 kg/ha K, 12,6 kg/ha Mg)
	Datum	7.2.2005
Aussaat	Gerät	4-reihiges pneumatisches Einzelkornsäugerät (KLEINE Multicorn)
	Datum	28.4.2005
	Bestandesdichte	10 Pflanzen m <sup>-2</sup> (75 cm zwischen Reihen, 13,2 cm innerhalb Reihen)
	Parzellengröße	120 m <sup>2</sup> (8 Reihen je 20 m lang)
	Sorten	Flavi (S250), PR36K67 (S370), Mikado (S500)
N-Düngung	Gerät	RAUCH Aero 2215
	Menge	180 kg N ha <sup>-1</sup> (Kalkammonsalpeter)
	Datum	28.4.2005
Auflaufen	Datum	14.5.2005
Pflanzenschutz	Herbizid	Artett (2,5 L ha <sup>-1</sup> ) + Motivell (1,0 L ha <sup>-1</sup> )
	Datum	1.6.2005
	Insektizid	Karate Zeon (75 mL ha <sup>-1</sup> ), Tamaron (900 mL ha <sup>-1</sup> ), gegen Läuse
	Datum	5.7.2005, 13.7.2005
Beregnung bzw. Bewässerung	Variante 'Optimal'	10 mm (16.6.), 10 mm (21.6.), 15 mm (27.6.), 10 mm (4.7.), 14 mm (6.7)*, 14 mm (14.7.), 17 mm (16.7)*, 10 mm (25.8.), 12 mm (1.9.), 10 mm (8.9.), 12 mm (12.9.), 10 mm (21.9.); <u>Total: 145 mm</u>
	Variante 'Minimal'	14 mm (6.7)*, 17 mm (16.7)*; <u>Total: 31 mm</u>
Ernte	Datum	Flavi; PR36K67; Mikado: 5.10.2006

\* Beregnung mit dem Beregnungswagen; sonst Tropfbewässerung.

Tabelle A7.2. Anbaudaten für den Bewässerungsversuch mit Energiemais in Braunschweig 2006.

Vorfrucht	Art	Mais
Bodenbearbeitung	Gerät	Dreischarpflug (Rabe & Specht; 25 cm tief am 25.4.2006). Kreiselgrubber (Amazone KG251; 6 cm tief am 2.5.2006)
Grunddüngung	Gerät	RAUCH Aero 2215
	Menge	800 kg Thomaskali pro Hektar (7% P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> , 21% K <sub>2</sub> O, 3% MgO)
Aussaat	Datum	2.2.2006
	Gerät	4-reihiges pneumatisches Einzelkornsäugerät (KLEINE Multicorn)
	Datum	2.5.2006
	Bestandesdichte	10 Pflanzen m <sup>-2</sup> (75 cm zwischen und 13,2 cm innerhalb Reihen)
Parzellengröße		120 m <sup>2</sup> (8 Reihen je 20 m lang)
	Sorten	Flavi (S250), PR36K67 (S370), Mikado (S500)
N-Düngung	Gerät	RAUCH Aero 2215
	Menge	180 kg N ha <sup>-1</sup> (Kalkammonsalpeter)
	Datum	26.4.2006
Auflaufen	Datum	12.5.2006
Pflanzenschutz	Herbizid	Artett (2,5 L ha <sup>-1</sup> ) + Motivell (1,0 L ha <sup>-1</sup> )
	Datum	24.5.2006
	Insektizid	Karate Zeon (75 mL ha <sup>-1</sup> ) gegen Läuse
Beregnung bzw. Bewässerung	Variante 'Optimal'	20 mm (30.6.), 20 (7.7.), 20 mm (13.7.), 5 mm, 16 mm (17.7.)*, 25 mm (21.7.), 15 mm (24.7.), 13 mm (25.7.)*, 10 mm (28.7.), 20 mm (1.8.), 12 mm (7.8.)*, 8 mm (8.8.); <u>Total: 184 mm</u>
	Variante 'Minimal'	16 mm (17.7.)*, 13 mm (25.7.)*, 12 mm (7.8.)*; <u>Total: 41 mm</u>
Ernte	Datum	Flavi: 26.9.2006; PR36K67: 5.10.2006; Mikado: 10.10.2006

\* Beregnung mit dem Beregnungswagen; sonst Tropfbewässerung.

Tabelle A7.3. Anbaudaten für den Bewässerungsversuch mit Energiemais in Braunschweig 2007.

Vorfrucht	Art	Mais
Bodenbearbeitung	Gerät	RABE & SPECHT Dreischarpflug (25 cm tief am 12.4.2007). AMAZONE Kreiselgrubber (KG251); 6 cm tief am 2.5.2007)
Grunddüngung	Gerät	RAUCH Aero 2215
	Menge	700 kg Thomaskali pro Hektar (7% P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> , 21% K <sub>2</sub> O, 3% MgO)
Aussaat	Datum	8.3.2007
	Gerät	KLEINE Multicorn; 4-reihiges pneumatisches Einzelkornsäegerät
	Datum	2.5.2007
	Bestandesdichte	10 Pflanzen m <sup>-2</sup> (75 cm zwischen und 13,2 cm innerhalb Reihen)
Parzellengröße		120 m <sup>2</sup> (8 Reihen je 20 m lang)
	Sorten	Flavi (S250), PR36K67 (S370), Mikado (S500)
N-Düngung	Gerät	RAUCH Aero 2215
	Menge	180 kg N ha <sup>-1</sup> (Kalkammonsalpeter)
	Datum	23.4.2007
Auflaufen	Datum	Flavi am 17.5.2007, PR36K67 am 18.5.2007 und Mikado am 15.5.2007
Pflanzenschutz	Herbizid	Artett (2,5 L ha <sup>-1</sup> ) + Motivell (1,0 L ha <sup>-1</sup> )
	Datum	25.5.2007
Bewässerung*	Variante 'optimal'	25 mm (19.7.), 10 mm (6.8.), 15 mm (9.8.); <u>Total: 50 mm</u>
	Variante 'Minimal'	Keine Zusatzbewässerung
Ernte	Datum	Flavi: 9.10.2007; PR36K67: 16.10.2007; Mikado: 22.10.2007

\* Tropfbewässerung in der Variante 'Optimal'.



Tabelle A7.4. Anbaudaten für den Bewässerungsversuch zum Misanbau im Folientunnel in Braunschweig 2006.

		Mais	Sonnenblume	Futterhirse
Vorfrucht	Art	Einheitlich Sommergerste		
	Ernte	Einheitlich am 4.8. 2005		
Bodenbearbeitung	Gerät	Grubber (2x)		
	Tiefe	Einheitlich 12 cm		
	Datum	Einheitlich 20.4.2005		
Saatbettbereitung		Einheitlich mit dem Federzinkengrubber		
Aussaat	Gerät	KLEINE Multicorn	BECKER Aeromat	KVERNELAND/ACCORD Miniair S
	Datum	Einheitlich 3.5.2005		
	Saattiefe	3 cm	3 cm	1-2 cm
	Reihenabstand	Einheitlich 62,5 cm		
	Sorte	ES Ultra Star	Alisson	Rona 1
Grunddüngung	Gerät	Einheitlich RAUCH Aero 2215 (pneumatischer Düngerstreuer)		
	Düngerart	Einheitlich 400 kg ha <sup>-1</sup> Kornkali (133 kg K ha <sup>-1</sup> , 14 kg Mg ha <sup>-1</sup> , 16 kg S ha <sup>-1</sup> )		
	Datum	Einheitlich 19.8.2005		
N-Düngung	Gerät	Einheitlich mit NODET Parzellendüngerstreuer (umgebaute Drillmaschine ohne Schare)		
	Düngerform Düngermenge	Einheitlich Kalkammonsalpeter 160 kg N ha <sup>-1</sup>	80 kg N ha <sup>-1</sup>	130 kg N ha <sup>-1</sup>
Aufgang	Datum	11.5.2006	10.5.2006	7.6.2006 (gepflanzt)
Bestandesdichte	Pflanzen pro m <sup>2</sup>	10	10	20
Pflanzenschutz	Unkrautbekämpfung	Handhacke (mehrfach)		

Tabelle A7.4. Anbaudaten für den Bewässerungsversuch zum Mischanbau im Folientunnel in Braunschweig 2006.

		Mais	Sonnenblume	Futterhirse
Beregnung bzw. Bewässerung	Variante 60-80% nFK	12 mm (12.5.), 6 (16.5.), 15 mm (21.6.), 7 mm (23.6.), 5 mm (28.6.), 6 mm (30.6.), 20 mm (3.7.), 15 mm (5.7.), 20 mm (7.7.), 10 mm (11.7.), 20 mm (14.7.), 15 mm (17.7.), 25 mm (20.7.), 20 mm (24.7.), 15 mm (26.7.), 18 mm (29.7.), 12 mm (01.08) 8 mm (04.08), 15 mm (07.08), 12 mm (11.08.), 15 mm (16.08.), 10 mm (18.08.) 16 mm (25.08.), 15 mm (01.09.); <u>Total: 332 mm</u>		
	Variante 40-50% nFK	12 mm (12.5.), 6 (16.5.), 6 mm (30.6.), 20 mm (3.7.), 10 mm (5.7.), 15 mm (7.7.), 5 mm (11.7.), 20 mm (14.7.), 10 mm (17.7.), 20 mm (20.7.), 10 mm (24.7.), 15 mm (26.7.), 15 mm (29.7.), 8 mm (01.8.), 8 mm (04.08.) ), 10 mm (07.08), 8 mm (11.08.), 10 mm (16.08.), 10 mm (18.08.), 12 mm (25.08.), 12 mm (01.09.); <u>Total: 242 mm</u>		
	Variante 15-30% nFK	12 mm (12.5.), 6 (16.5.), 2 mm (30.6.), 15 mm (3.7.), 10 mm (7.7.), 15 mm (14.7.), 15 mm (20.7.), 10 mm (26.7.), 12 mm (29.7.), 8 mm (04.08.) 6 mm (11.08.), 10 mm (18.08.) 8 mm (25.08.), 9 mm (01.09.); <u>Total: 138 mm</u>		
Ernte	Gerät	Einheitlich Handerte		
	Datum	7.9.2006		
Bemerkungen		Am 13.6. wurde die Dachfolie aufgezogen. Von diesem Zeitpunkt wurde ausschließlich künstlich über Tropfschläuche bewässert. Zur Verhinderung von Vogelfraß wurde die gesamte Versuchsfläche nach der Aussaat mit einem Vlies abgedeckt und die Sonnenblumenkörbe nach der Blüte in Gaze-säcke eingenetzt. Fehlstellen in den Mais- und Sonnenblumenreihen wurden durch speziell für diesen Zweck gedrillte Reservepflanzen geschlossen.		

Tabelle A7.5. Anbaudaten für den Bewässerungsversuch zum Misanbau im Folientunnel in Braunschweig 2007.

		Mais	Sonnenblume	Futterhirse
Vorfrucht	Art	Phacelia		
	Ernte	Phacelia am 21.7.2006 abgehäckselt und am 10.8.2006 untergefräst		
Bodenbearbeitung	Gerät	Bodenfräse (2,5 m) vor Winter (10.8.2006) und nach Winter (11.4.2007). Einscharpflug vor der Aussaat am 12.4.2007 ca. 20 cm tief. Am 12.4.2007 mit Walze am Kleintraktor rückverfestigt und mit Federzinkengrubber (1,2 m) gelockert und begradigt.		
Saatbettbereitung	Gerät und Datum	Am 2.5.2007 mit Kreiselgrubber (2,5 m) flach bearbeitet.		
Aussaat	Gerät	KLEINE Multicorn	BECKER Aeromat	KVERNE-LAND/ACCORD Mini-air S
	Datum	3.5.2007	3.5.2007	3.5.2007
	Saattiefe	3 cm	3 cm	1-2 cm
	Reihenabstand	Einheitlich 62,5 cm		
	Sorte	ES Ultra Star	Alisson	Rona 1
Grunddüngung	Gerät	Keine (vorherige Bodenuntersuchungen)		
N-Düngung	Gerät	Einheitlich mit NODET Parzellendüngerstreuer (umgebautes Drillgerät ohne Schare)		
	Düngerform	Einheitlich Kalkammonsalpeter		
	Düngermenge	160 kg N ha <sup>-1</sup>	80 kg N ha <sup>-1</sup>	130 kg N ha <sup>-1</sup>
	Datum	160 kg N ha <sup>-1</sup> (je 80 kg N ha <sup>-1</sup> am 3.5.2007 und 22.5.2007)	80 kg N ha <sup>-1</sup> am 3.5.2007	130 N ha <sup>-1</sup> (80 kg N ha <sup>-1</sup> am 3.5.2007 und 50 kg N ha <sup>-1</sup> am 22.5.2007)
Aufgang	Datum	13.5.2007	11.5.2007	14.5.2007
Bestandesdichte	Pflanzen pro m <sup>2</sup>	11	10	20

Tabelle A7.5. Anbaudaten für den Bewässerungsversuch zum Misanbau im Folientunnel in Braunschweig 2007.

		Mais	Sonnenblume	Futterhirse
Pflanzenschutz	Unkrautbekämpfung	Mehrfache Handhacke		
Bewässerung	Variante 60-80% nFK	15 mm (19.6.), 25 mm (26.6.), 25 mm (3.7.), 25 mm (11.7.), 30 mm (16.7.), 30 mm (19.7.), 30 mm (25.7.), 15 mm (1.8.), 15 mm (6.8.), 20 mm (9.8.), 20 mm (14.0.), 10 mm (17.8.), 15 mm (23.8.), 10 mm (30.8.) 15 mm (6.9.); <u>Total: 300 mm</u>		
	Variante 40-50% nFK	15 mm (26.6.), 15 mm (3.7.), 15 mm (11.7.), 15 mm (16.7.), 15 mm (19.7.), 10 mm (25.7.), 15 mm (1.8.), 10 mm (6.8.), 15 mm (9.8.), 10 mm (14.8.), 10 mm (17.8.), 15 mm (23.8.), 10 mm (30.8.) 15 mm (6.9.); <u>Total: 185 mm</u>		
	Variante 15-30% nFK	5 mm (25.7.), 10 mm (1.8.), 5 mm (6.8.), 10 mm (17.8.), 10 mm (30.8.); <u>Total: 40 mm</u>		
Ernte	Gerät	Einheitlich Handerte		
	Datum	Einheitlich 13.9.2007		
Bemerkungen		Am 31.5.2007 wurde die Dachfolie aufgezogen. Von diesem Zeitpunkt wurde ausschließlich künstlich über Tropfschläuche bewässert. Zur Verhinderung von Vogelfraß wurde die gesamte Versuchsfläche nach der Aussaat mit einem Vlies abgedeckt und die Sonnenblumenkörbe nach der Blüte in Gazesäcke eingenetzt. Fehlstellen wurden mit parallel ausgesäten Ersatzpflanzen geschlossen.		

Tabelle A7.6. Mittelwerte für Wuchshöhe, Nährstoffgehalte (i.d. TM) und Erträge der Mischungspartner Mais und Sonnenblume aus dem Mais/Sonnenblume Mischanbau bei drei Wasserregimen in den Jahren 2006 und 2007 in Braunschweig.

Jahr (J)	Wasserregime (W)	Art (A)	Wuchshöhe (cm)	TM-Gehalt (%)	Rohasche (%)	Rohfett (%)	Rohprotein (%)	Rohfaser (%)	NfE (%)	Methan- ausbeute L (kg oTM) <sup>-1</sup>	FM- Ertrag t ha <sup>-1</sup>	TM- Ertrag t ha <sup>-1</sup>	Methan- ertrag m <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup>
2006	15–30% nFK	Mais	116	30,7	4,4	2,6	8,2	18,1	66,8	308	40,1	12,3	3.623
		Sonnenblume	116	41,2	12,7	16,5	11,2	26,8	32,8	305	17,9	7,4	1.960
	40–50% nFK	Mais	211	32,3	4,9	2,9	6,5	18,9	66,8	309	52,2	16,9	4.963
		Sonnenblume	143	39,7	14,6	11,3	11,1	29,3	33,8	291	19,7	7,8	1.934
	60–80% nFK	Mais	256	31,7	4,5	2,6	5,8	23,0	64,2	306	60,8	19,3	5.634
		Sonnenblume	169	42,2	14,8	10,6	11,2	30,6	32,9	288	22,8	9,6	2.359
GD 5% <sup>†</sup>			-	-	-	-	-	-	-	5	6,9	1,8	505
GD 5% <sup>‡</sup>			27	-	0,2	-	0,3	0,3	-	-	6,9	2,8	762
<u>Signifikanz der F-Werte aus der Varianzanalyse 2006</u>													
		W	**	NS	**	NS	**	**	NS	NS	*	*	*
		A	*	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**
		A x W	NS	NS	NS	*	NS	NS	NS	**	*	*	**
2007	15–30% nFK	Mais	175	30,5	5,6	2,4	7,8	19,7	64,5	293	36,0	11,0	3.031
		Sonnenblume	215	41,2	11,6	18,5	10,2	26,8	32,9	309	31,0	12,7	3.485
	40–50% nFK	Mais	282	32,2	5,6	1,8	7,1	19,9	65,6	296	59,9	19,3	5.385
		Sonnenblume	227	30,9	14,2	12,8	9,3	31,8	32,0	292	34,0	10,0	2.496
	60–80% nFK	Mais	308	32,8	5,8	1,4	6,5	19,7	66,6	295	71,9	23,8	6.631
		Sonnenblume	238	29,5	14,0	15,6	10,1	32,0	28,3	297	39,6	11,6	2.969
GD 5% <sup>†</sup>			19	6,7	0,6	-	-	-	-	10	-	-	2.170
GD 5% <sup>‡</sup>			27	-	1,3	-	-	-	-	-	-	-	-
<u>Signifikanz der F-Werte aus der Varianzanalyse 2007</u>													
		W	**	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
		A	**	NS	**	**	**	**	**	NS	*	*	*
		A x W	**	*	**	NS	NS	NS	NS	*	NS	NS	*

Tabelle A7.6. Mittelwerte für Wuchshöhe, Nährstoffgehalte (i.d. TM) und Erträge der Mischungspartner Mais und Sonnenblume aus dem Mais/Sonnenblume Mischanbau bei drei Wasserregimen in den Jahren 2006 und 2007 in Braunschweig.

Jahr (J)	Wasserregime (W)	Art (A)	Wuchshöhe (cm)	TM-Gehalt (%)	Rohasche (%)	Rohfett (%)	Rohprotein (%)	Rohfaser (%)	NfE (%)	Methan- ausbeute L (kg oTM) <sup>-1</sup>	FM- Ertrag t ha <sup>-1</sup>	TM- Ertrag t ha <sup>-1</sup>	Methan- ertrag m <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup>
Mittel Jahre	15–30% nFK	Mais	146	30,6	5,0	2,5	8,0	18,9	65,6	301	38,1	11,6	3.327
		Sonnenblume	165	41,2	12,1	17,5	10,7	26,8	32,8	307	24,4	10,1	2.723
	40–50% nFK	Mais	247	32,2	5,3	2,4	6,8	19,4	66,2	303	56,1	18,1	5.174
		Sonnenblume	185	35,3	14,4	12,0	10,2	30,5	32,9	291	26,8	8,9	2.215
	60–80% nFK	Mais	282	32,3	5,1	2,0	6,2	21,4	65,4	301	66,4	21,6	6.132
		Sonnenblume	203	35,9	14,4	13,1	10,7	31,3	30,6	293	31,2	10,6	2.664
GD 5% <sup>†</sup>			30	-	-	-	-	-	-	6	-	-	-
GD 5% <sup>‡</sup>			31	-	0,2	-	-	-	-	-	-	2	571
<u>Signifikanz der F-Werte aus der zusammenfassenden Varianzanalyse über die Jahre</u>													
		J	*	NS	NS	*	NS	NS	NS	*	*	*	NS
		W	*	NS	**	NS	NS	NS	NS	NS	NS	*	*
		W x J	NS	*	NS	NS	NS	NS	*	NS	NS	NS	NS
		A	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
		A x J	NS	**	**	**	NS	NS	NS	**	NS	NS	NS
		A x W	*	NS	NS	NS	NS	NS	NS	*	NS	NS	NS
		A x W x J	NS	*	NS	NS	NS	NS	*	NS	NS	NS	NS

<sup>†</sup> Grenzdifferenz für Mittelwertvergleiche von Mischung x Wasserregime-Kombinationen innerhalb eines Merkmals.

<sup>‡</sup> Grenzdifferenz für Mittelwertvergleiche der Wasserregime innerhalb eines Merkmals.

\*, \*\*, NS Signifikant für  $P < 0,05$  und  $P < 0,01$ . NS = nicht signifikant für  $P < 0,05$ ; NfE = Stickstofffreie Extraktstoffe.

Tabelle A7.7. Mittelwerte für Wuchshöhe, Nährstoffgehalte (i.d. TM) und Erträge der Mischungspartner Mais und Futterhirse aus dem Mais/Futterhirse Mischanbau bei drei Wasserregimen in den Jahren 2006 und 2007 in Braunschweig.

Jahr (J)	Wasser- regime (W)	Art (A)	Wuchs- höhe cm	TM- Gehalt %	Roh- asche %	Roh- fett %	Roh- protein %	Roh- faser %	NfE %	Methan- ausbeute L (kg oTM) <sup>-1</sup>	FM- Ertrag t ha <sup>-1</sup>	TM- Ertrag t ha <sup>-1</sup>	Methan- ertrag m <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup>
2006	15–30% nFK	Mais	147	30,1	5,2	2,6	7,7	19,9	64,6	307	42,8	12,9	3.757
		Futterhirse	125	26,2	4,8	2,3	8,4	23,9	60,6	243	38,3	10,0	2.325
	40–50% nFK	Mais	230	31,8	4,9	3,0	6,3	19,4	66,4	309	55,2	17,6	5.167
		Futterhirse	183	23,9	5,2	2,2	7,5	25,9	59,3	243	56,6	13,5	3.111
	60–80% nFK	Mais	266	30,9	4,7	2,9	6,6	21,1	64,7	308	67,3	20,8	6.101
		Futterhirse	212	22,4	5,5	2,2	7,6	28,5	56,2	244	63,6	14,3	3.293
GD 5% <sup>†</sup>			28	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-
GD 5% <sup>‡</sup>			8	-	-	-	-	-	-	-	4,1	0,5	139
<u>Signifikanz der F-Werte aus der Varianzanalyse 2006</u>													
		W	**	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	**	**	**
		A	**	**	NS	**	*	**	**	**	NS	**	**
		A x W	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	*	NS	NS	NS
2007	15–30% nFK	Mais	171	33,7	6,0	2,2	7,5	20,8	63,5	292	41,8	14,1	3.862
		Futterhirse	159	27,5	4,6	1,8	7,2	24,5	62,0	242	34,7	9,5	2.196
	40–50% nFK	Mais	283	32,3	5,7	1,6	7,2	21,4	64,2	294	70,0	22,6	6.255
		Futterhirse	256	24,3	5,0	1,7	6,4	24,8	62,1	242	58,4	14,2	3.255
	60–80% nFK	Mais	291	30,4	6,0	1,8	8,0	19,0	65,3	300	73,3	22,3	6.301
		Futterhirse	268	23,9	4,9	1,4	7,0	24,3	62,4	241	62,2	14,8	3.403
GD 5% <sup>†</sup>			-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
GD 5% <sup>‡</sup>			43	1,5	-	-	0,4	-	-	-	5,5	1,5	355
<u>Signifikanz der F-Werte aus der Varianzanalyse 2007</u>													
		W	*	*	NS	NS	*	NS	NS	NS	**	**	**
		A	*	**	*	NS	NS	**	*	**	*	**	**
		A x W	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS

Tabelle A7.7. Mittelwerte für Wuchshöhe, Nährstoffgehalte (i.d. TM) und Erträge der Mischungspartner Mais und Futterhirse aus dem Mais/Futterhirse Mischanbau bei drei Wasserregimen in den Jahren 2006 und 2007 in Braunschweig.

Jahr (J)	Wasserregime (W)	Art (A)	Wuchshöhe (cm)	TM-Gehalt (%)	Rohasche (%)	Rohfett (%)	Rohprotein (%)	Rohfaser (%)	NfE (%)	Methan- ausbeute L (kg oTM) <sup>-1</sup>	FM- Ertrag t ha <sup>-1</sup>	TM- Ertrag t ha <sup>-1</sup>	Methan- ertrag m <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup>
Mittel Jahre	15–30% nFK	Mais	159	31,9	5,6	2,4	7,6	20,3	64,1	300	42,3	13,5	3.810
		Futterhirse	142	26,9	4,7	2,1	7,8	24,2	61,3	243	36,5	9,8	2.260
	40–50% nFK	Mais	257	32,0	5,3	2,3	6,7	20,4	65,3	302	62,6	20,1	5.711
		Futterhirse	219	24,1	5,1	2,0	6,9	25,3	60,7	243	57,5	13,8	3.183
	60–80% nFK	Mais	279	30,7	5,4	2,3	7,3	20,0	65,0	304	70,3	21,6	6.201
		Futterhirse	240	23,1	5,2	1,8	7,3	26,4	59,3	243	62,9	14,6	3.348
GD 5% <sup>†</sup>			-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
GD 5% <sup>‡</sup>			53	-	-	-	-	-	-	-	16,2	3,4	989
<u>Signifikanz der F-Werte aus der zusammenfassenden Varianzanalyse über die Jahre</u>													
		J	NS	NS	NS	**	NS	NS	NS	**	NS	NS	NS
		W	*	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	*	*	*
		W x J	NS	NS	NS	*	NS	NS	NS	NS	**	**	**
		A	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
		A x J	*	NS	**	*	**	NS	**	**	*	NS	NS
		A x W	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
		A x W x J	NS	NS	NS	*	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS

<sup>†</sup> Grenzdifferenz für Mittelwertvergleiche von Mischung x Wasserregime-Kombinationen innerhalb eines Merkmals.

<sup>‡</sup> Grenzdifferenz für Mittelwertvergleiche der Wasserregime innerhalb eines Merkmals.

\*, \*\*, NS Signifikant für  $P < 0,05$  und  $P < 0,01$ . NS = nicht signifikant für  $P < 0,05$ ; NfE = Stickstofffreie Extraktstoffe.



Tabelle A7.8. Anbaudaten für die Erstfrüchte in dem Versuch zur Zweikulturnutzung in Braunschweig 2005/2006.

		Welsches Weidelgras	Winterroggen	Senf
Vorfrucht	Art	Einheitlich Sommergerste		
	Ernte	Einheitlich am 4.8.2005		
	Stoppelbearbeitung	Einheitlich Flachgrubber (2,5 m)		
	Tiefe	Einheitlich ca. 10 cm		
Bodenbearbeitung	Gerät	Einheitlich 3-Schar Vollandpflug		
	Tiefe	Einheitlich ca. 25 cm		
	Datum	Einheitlich 22.8.2005		
Saatbettbereitung	Einheitlich 1 Bearbeitungsgang mit der Fräse (2,5 m)			
Aussaat	Gerät	Einheitlich Kreiselegge/Drillkombination mit Rollscharen (2,5 m).		
	Datum	23.8.2005	5.10.2005	23.8.2005
	Saatstärke	35 kg ha <sup>-1</sup>	95 kg ha <sup>-1</sup>	20 kg ha <sup>-1</sup>
	Saattiefe	Einheitlich 2 cm		
	Reihenabstand	Einheitlich 11,9 cm		
	Sorte	Nabucco	Pollino	Sembler
Grunddüngung	Gerät	Einheitlich RAUCH Aero 2215 (pneumatischer Düngerstreuer)		
	Düngerart	Einheitlich Kornkali (später Bittersalz)		
	Düngermenge	400 kg ha <sup>-1</sup>		
	Reinnährstoffe (kg ha <sup>-1</sup> )			
	Datum	Einheitlich 19.8.2005		
N-Düngung	Gerät	RAUCH Aero 2215 (pneumatischer Düngerstreuer)		
	Düngerart	Einheitlich Kalkammonsalpeter		
	Rein-N (kg ha <sup>-1</sup> )	Einheitlich 40 kg ha <sup>-1</sup>		
Auflaufen	Datum	29.8.2005	13.10.2005	28.8.2005
	Bestandesdichte (Pfl. m <sup>-2</sup> )		208 (195 bis 225)	

Tabelle A7.8. Anbaudaten für die Erstfrüchte in dem Versuch zur Zweikulturnutzung in Braunschweig 2005/2006.

		Welsches Weidelgras	Winterroggen	Senf
Pflanzenschutz	Herbizide L o. kg ha <sup>-1</sup>	Schröpfschnitt		
	Datum	13.10.2005		
Beregnung (mm)	Menge	Einheitlich keine		
Ernte	Gerät	HALDRUP Grünfutter- vollernter	HALDRUP Grünfutter- vollernter	
	Datum	10.5.2006	10.5.2006	

Tabelle A7.9. Anbaudaten für die Erstfrüchte in dem Versuch zur Zweikulturnutzung in Braunschweig 2006/2007.

		Welsches Weidelgras	Winterroggen	Senf
Vorfrucht	Art	Winterweizen		
	Ernte	20.7.2006		
	Stoppelbearbeitung	Flachgrubber (2,5 m)		
	Tiefe	10 cm		
Bodenbearbeitung	Gerät	3-Schar Volldrehpflug mit Packer		
	Tiefe	25 cm		
	Datum	23./24.8.2006		
Saatbettbereitung	1 Bearbeitungsgang mit Kreiselgrubber (2,5 m)			
Aussaat	Gerät	Kreiselegge/Drillkombination (2,5 m) mit Rollscharen.		
	Datum	31.8.2006	27.9.2006	31.8.2006
	Saatstärke	37 kg ha <sup>-1</sup>	80 kg ha <sup>-1</sup>	25 kg ha <sup>-1</sup>
	Saattiefe	Einheitlich 2 cm		
	Reihenabstand	Einheitlich 11,9 cm		
	Sorte	Nabucco	Visello	Sembler
Grunddüngung	Gerät	Einheitlich RAUCH Aero 2215 (pneumatischer Düngerstreuer)		
	Düngerart	Einheitlich Thomaskali 7/21/3		
	Düngermenge	800 kg ha <sup>-1</sup>		
	Reinnährstoffe	24,4 kg ha <sup>-1</sup> P, 139,4 kg ha <sup>-1</sup> K und 14,4 kg ha <sup>-1</sup> Mg		
	Datum	Einheitlich 17.8.2006		
N-Düngung	Gerät	RAUCH Aero 2215 (pneumatischer Düngerstreuer)		
	Düngerart	Einheitlich Kalkammonsalpeter		
	Rein-N gesamt	110 kg ha <sup>-1</sup>	100 kg ha <sup>-1</sup>	40 kg ha <sup>-1</sup>
	Einzelgaben	40 kg ha <sup>-1</sup> (1.9.2006) 70 kg ha <sup>-1</sup> (14.3.2007)	40 kg ha <sup>-1</sup> (28.9.2006) 60 kg ha <sup>-1</sup> (14.3.2007)	1.9.2006

Tabelle A7.9. Anbaudaten für die Erstfrüchte in dem Versuch zur Zweikulturnutzung in Braunschweig 2006/2007.

		Welsches Weidelgras	Winterroggen	Senf
Auflaufen	Datum	6.9.2006	2.10.2006	5.9.2006
	Bestandesdichte (Pfl. m <sup>-2</sup> )		190	
	Datum		19.10.2006	
Pflanzenschutz	Herbizide L o. kg ha <sup>-1</sup>	Keine		
Beregnung (mm)	Menge	Keine		
Ernte	Gerät	HALDRUP Grünfuttermäherernter		Keine (Gründüngung)
	Datum	9.5.2007	9.5.2007	

Tabelle A7.10. Anbaudaten für die Zweitfrüchte in dem Versuch zur Zweikulturnutzung in Braunschweig 2006.

		Mais	Sonnenblume	Futterhirse
Vorfrucht	Art	Welsches Weidelgras, Winterroggen bzw. Gelbsenf als abfrierende Winterzwischenfrucht		
	Ernte	Einheitliche Ernte von Welschem Weidelgras und Grünschnittroggen mit dem HALDRUP Grünfuttervollernter am 10.5.2006		
Bodenbearbeitung	Gerät (Datum)	Einheitlich 3-Schar Voldrehpflug am 17.5.2006		
	Tiefe	Einheitlich ca. 25 cm		
Saatbettbereitung	Gerät	Einheitlich zur Aussaat in einem Arbeitsgang mit der Kreiselegge (3,0 m)		
Aussaat	Gerät	KLEINE Multicorn	BECKER Aeromat	KVERNELAND/ACCORD Miniair S
	Datum	Einheitlich 18.5.2006		
	Saattiefe (cm)			
	Reihenabstand (cm)	75	50	50
	Sorte	Francisco	Alisson	Rona 1
Grunddüngung	Gerät	Siehe Anbaudaten für die Erstfrüchte		
N-Düngung	Gerät	Einheitlich RAUCH Aero 2215 (pneumatischer Düngerstreuer)		
	Düngerart	Einheitlich Kalkammonsalpeter		
	Rein-N	180 kg ha <sup>-1</sup>	40 kg ha <sup>-1</sup>	150 kg ha <sup>-1</sup>
Auflaufen	Datum	29.5.2006	29.5.2006	8.6.2006
	Bestandesdichte (Pfl. m <sup>-2</sup> )	10,0	9,8	19,4
Pflanzenschutz	Herbizide L o. kg ha <sup>-1</sup> (Datum)	Einheitlich nach der Ernte der Erstfrüchte 4 L ha <sup>-1</sup> Roundup Ultra auf der gesamten Versuchfläche (12.5.2006)		
		2,5 L ha <sup>-1</sup> Artett plus 1 L ha <sup>-1</sup> Motivell (15.6.2006)	4 L ha <sup>-1</sup> Stomp SC (18.5.2006.)	Handhacke zwischen den Reihen (19.-21.6.2006). 1,3 L ha <sup>-1</sup> Certrol B (18.5.2006)

Tabelle A7.10. Anbaudaten für die Zweitfrüchte in dem Versuch zur Zweikulturnutzung in Braunschweig 2006.

		Mais	Sonnenblume	Futterhirse
Berechnung bzw. Bewässerung	Variante 'Optimal'	22 mm* (6.7.), 20 mm* (13.7.), 20 mm* (18.7.), 24 mm* (21.7.), 20 mm (27.7.), 20 mm (3.8.), 15 mm (7.8.), 8 mm (11.8.), 20 mm (18.9.). <u>Total: 169 mm</u>	22 mm* (6.7.), 20 mm* (13.7.), 20 mm* (18.7.), 24 mm* (21.7.), 20 mm (27.7.), 20 mm (3.8.), 15 mm (7.8.), 8 mm (11.8.). <u>Total: 149 mm</u>	22 mm* (06.7.), 20 mm* (13.7.), 20 mm* (18.7.), 24 mm* (21.7.), 20 mm (27.7.), 20 mm (3.8.), 15 mm (7.8.), 8 mm (11.8.), 20 mm (18.9.). <u>Total: 169 mm</u>
	Variante 'Minimal'	Einheitlich: 12 mm* (18.7.), 10 mm* (26.7.), <u>Total: 21 mm</u>		
Ernte	Gerät	Handernte von 3 Reihen je Parzelle		
	Datum	4.10.2006	20.9.2006	11.10.2006
Bemerkungen	Zur Verhinderung von Vogelfraß wurden die Sonnenblumenparzellen nach der Aussaat bis nach der Bestandesetablierung mit Vlies und nach der Blüte mit einem engmaschigen Netz abgedeckt. Bei der Futterhirse wurden größere Bestandeslücken in den Enderntereihen durch Verpflanzen geschlossen.			

\* Berechnung mit dem Berechnungswagen; sonst Tropfbewässerung

Tabelle A7.11. Anbaudaten für die Zweitfrüchte in dem Versuch zur Zweikulturnutzung in Braunschweig 2007.

		Mais	Sonnenblume	Futterhirse
Vorfrucht	Art	Welsches Weidelgras, Winterroggen bzw. Gelbsenf als abfrierende Winterzwischenfrucht		
	Ernte	Ernte von Welschem Weidelgras und Grünschnittroggen mit dem HALDRUP Grünfultervollernter am 9.5.2007		
Bodenbearbeitung	Gerät (Datum)	3-Schar Volldrehpflug ohne Packer am 16.4.2007 für die 1. Aussaat nach Gelbsenf und am 18.5.2007 für die 2. Aussaat.		
	Tiefe	25 cm		
Saatbettbereitung	Gerät	2x mit Kreiselgrubber (2,5 m)		
Aussaat	Gerät	KLEINE Multicorn	BECKER Aeromat	KVERNELAND/ACCORD Miniair S
	Datum	25.4.2007 (1. Aussaat) und 21.5.2007 (2. Aussaat)	25.4.2007 (1. Aussaat) und 21.5.2007 (2. Aussaat)	18.5.2007 (1. Aussaat) und 21.5.2007 (2. Aussaat)
	Saattiefe	3 cm	3 cm	1-2 cm
	Reihenabstand	75 cm	50 cm	50 cm
	Sorte	Francisco	Alisson	Rona 1
Grunddüngung	Gerät	Siehe Anbaudaten für die Erstfrüchte		
N-Düngung	Gerät	Einheitlich RAUCH Aero 2215 (pneumatischer Düngerstreuer)		
	Düngerart Rein-N	Einheitlich Kalkammonsalpeter 180 kg ha <sup>-1</sup>	80 kg ha <sup>-1</sup>	150 kg ha <sup>-1</sup>
Auflaufen	Datum	4.5.2007 (1. Aussaat) und 27.5.2007 (2. Aussaat)	3.5.2007 (1. Aussaat) und 27.5.2007 (2. Aussaat)	24.5.2007 (1. Aussaat) und 27.5.2007 (2. Aussaat)
	Bestandesdichte (Pfl. m <sup>-2</sup> )	10,1	9,9	23,9

Tabelle A7.11. Anbaudaten für die Zweitfrüchte in dem Versuch zur Zweikulturnutzung in Braunschweig 2007.

		Mais	Sonnenblume	Futterhirse
Pflanzenschutz	Herbizide L o. kg ha <sup>-1</sup> (Datum)	4 L ha <sup>-1</sup> Roundup Ultra (15.5.2007) auf abgeernteten bei Winterroggen und Welsches Weidelgras		
		2,5 L ha <sup>-1</sup> Artett plus 1 L ha <sup>-1</sup> Motivell am 23.5.2007 bzw. 11.6.2007	4 L ha <sup>-1</sup> Stomp SC am 26.4.2007 bzw. 23.5.2007	1,5 L ha <sup>-1</sup> Certrol B am 11.6.2007 bzw. 19.6.2007
Bewässerung	Variante 'Minimal'	Keine		
	Variante 'Optimal' 1. Aussaattermin	15 mm (20.7.), 13,5 mm (26.7.), 10 mm (6.8.), 10 mm (9.8), 10 mm (10.8.); <u>Total: 58,5 mm</u>	15 mm (20.7.), 13,5 mm (26.7.), 10 mm (6.8.), 10 mm (9.8), 10 mm (10.8.); <u>Total: 58,5 mm</u>	15 mm (20.7.), 13,5 mm (26.7.), 10 mm (6.8.), 10 mm (9.8), 10 mm (10.8.); <u>Total: 58,5 mm</u>
	Variante 'Optimal' 2. Aussaattermin	15 mm (20.7.), 13,5 mm (26.7.), 10 mm (6.8.), 10 mm (9.8), 10 mm (10.8.); <u>Total: 58,5 mm</u>	15 mm (20.7.), 13,5 mm (26.7.), 10 mm (6.8.), 10 mm (9.8), 10 mm (10.8.); <u>Total: 58,5 mm</u>	15 mm (20.7.), 13,5 mm (26.7.), 10 mm (6.8.), 10 mm (9.8), 10 mm (10.8.); <u>Total: 58,5 mm</u>
Ernte	Gerät	Handernte von 3 Reihen je Parzelle		
	Datum	25.9.2007 (1. Aussaat) bzw. 11.10.2007 (2. Aussaat)	5.9.2007 (1. Aussaat) bzw. 19.9.2007 (2. Aussaat)	19.10.2007 (1. Aussaat) bzw. 23.10.2007 (2. Aussaat)
Bemerkungen		Zur Verhinderung von Vogelfraß wurden die Sonnenblumenparzellen nach der Aussaat bis nach der Bestandesetablierung mit Vlies und nach der Blüte mit einem engmaschigen Netz abgedeckt. Bei Sonnenblume und Futterhirse wurden größere Bestandeslücken in den Enderntereihen durch Verpflanzen geschlossen.		



Tabelle A7.12. Anbaudaten für die Erstfrüchte in dem Versuch zur Zweikulturnutzung in Forchheim 2005/2006.

		Welsches Weidelgras	Winterroggen	Winterraps
Vorfrucht	Art	Einheitlich Winterraps		
	Ernte	Einheitlich 30.06.2005		
	Stoppelbearbeitung	Einheitlich keine		
Bodenbearbeitung	Gerät	Einheitlich 4-Schar Volldrehpflug		
	Tiefe (cm)	Einheitlich ca. 30 cm am 9.8.2005		
	Gerät (Datum)	Einheitlich LEMKEN Gerätekombination am 1.9.2005		
	Gerät	Einheitlich LANDSBERG Kreiselegge		
	Datum	2.9.2005	5.10.2005	5.9.2005
Aussaat	Gerät	Einheitlich AMAZONE Sämaschine (2,5 m)		
	Datum	2.9.2005	5.10.2005	5.9.2005
	Saatstärke	35 kg ha <sup>-1</sup>	92 kg ha <sup>-1</sup> (200 kf.K. m <sup>-2</sup> )	4 kg ha <sup>-1</sup>
	Saattiefe	Einheitlich 3 cm		
	Reihenabstand	Einheitlich 15 cm		
	Sorte	Nabucco	Pollino	Viking
Grunddüngung	Thomaskali 6/16/6 am 19.04.2006: 120 kg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> , 320 kg K <sub>2</sub> O, 120 kg MgO			
N-Düngung		Einheitlich keine N-Düngung im Herbst wegen hoher N-Nachlieferung der Vorfrucht		
	KAS am 23.03.2006	60 kg N ha <sup>-1</sup>	60 kg N ha <sup>-1</sup>	100 kg N ha <sup>-1</sup>
Auflaufen	Datum	12.09.2005	11.10.2005	14.09.2005
	Bestandesdichte (Pfl. m <sup>-2</sup> )		254 (236 bis 267)	77 (68 bis 88)
	Datum		25.10.2005	25.10.2005
Pflanzenschutz	Herbizide L o. kg ha <sup>-1</sup>	1,0 L ha <sup>-1</sup> Bacara		Butisan Top 2,0 L ha <sup>-1</sup>
	Datum	25.10.2005		30.09.2005
Beregnung	Menge	20 mm		20 mm
	Datum	7.9.2005		7.9.2005

Tabelle A7.12. Anbaudaten für die Erstfrüchte in dem Versuch zur Zweikulturnutzung in Forchheim 2005/2006.

		Welsches Weidelgras	Winterroggen	Winterraps
Ernte	Gerät	Einheitlich HEGE Grünfuttermäher		
	Datum	8.5.2006	11.05.2006	11.5.2006
Bemerkungen		Vogelfraß in 4 Parzellen. Keine Neueinsaat da Bestandesdichte >68 Pfl. m <sup>-2</sup> .		

Tabelle A7.13. Anbaudaten für die Erstfrüchte in dem Versuch zur Zweikulturnutzung in Forchheim 2006/2007.

		Welsches Weidelgras	Winterroggen	Winterraps
Vorfrucht	Art	Einheitlich Wintergerste		
	Ernte	3.7.2006		
	Stoppelbearbeitung	Einheitlich Grubber LEMKEN Smaragd Flügelschargrubber		
Bodenbearbeitung	Gerät	Einheitlich 4-Schar Volldrehpflug LEMKEN Vario		
	Tiefe (cm)	Einheitlich ca. 30 cm am 17.8.2006		
	Gerät	Einheitlich LANDSBERG Kreiselegge		
	Datum	4.9.2006	4.9.2006	4.9.2006
	Gerät	Eggenkombination Lemken Korund		
	Datum	13.10.2006		
Aussaat	Gerät	Einheitlich mechanische AMAZONE Sämaschine mit Schleppscharen (2,5 m)		
	Datum	5.9.2006	13.10.2006	4.9.2006
	Saatstärke	35 kg ha <sup>-1</sup>	105 kg ha <sup>-1</sup> (238 kf.K. m <sup>-2</sup> )	5 kg ha <sup>-1</sup> (100 K m <sup>-2</sup> )
	Saattiefe	Einheitlich 2 - 3 cm		
	Reihenabstand	Einheitlich 15 cm		
	Sorte	Nabucco	Visello	Taurus
Grunddüngung	Thomaskali 6/16/6 am 14.3.2007: 52,3 kg P, 265,6 kg K, 72 kg Mg.			
N-Düngung	KAS 27			
	am 8.3.2007	60 kg N ha <sup>-1</sup>	60 kg N ha <sup>-1</sup>	100 kg N ha <sup>-1</sup>
Auflaufen	Datum	11.9.2006	20.10.2006	8.9.2006
	Bestandesdichte (Pfl. m <sup>-2</sup> )		220 (180 bis 264)	138 (120 bis 145)
	Datum		9.11.2006	11.10.2006

Tabelle A7.13. Anbaudaten für die Erstfrüchte in dem Versuch zur Zweikulturnutzung in Forchheim 2006/2007.

		Welsches Weidelgras	Winterroggen	Winterraps
Pflanzenschutz	Herbizide L o. kg ha <sup>-1</sup>	1,0 L ha <sup>-1</sup> Bacara	1,0 L ha <sup>-1</sup> Bacara	Butisan Top 2,0 L ha <sup>-1</sup>
	Datum	19.10.2006	19.10.2006	13.9.2006
Beregnung	Menge	0 mm	0 mm	0 mm
Ernte	Gerät	Einheitlich HEGE Grünfuttermäher		
	Datum	30.4.2007	24.4.2007	19.4.2007
Bemerkungen				Evtl. Mehraussaat

Tabelle A7.14. Anbaudaten für die Zweitfrüchte in dem Versuch zur Zweikulturnutzung in Forchheim 2006.

		Mais	Sonnenblume	Futterhirse
Vorfrucht	Art	Welsches Weidelgras, Winterroggen, Winter-raps	Welsches Weidelgras, Winter-roggen	Welsches Weidelgras, Winterroggen
Bodenbearbeitung	Gerät	Einheitlich 4-Schar Vollandpflug am 18.5.2006		
	Tiefe	Einheitlich ca. 25 cm		
Saatbettbereitung	Gerät	Einheitlich in einem Arbeitsgang mit der Kreiselegge (3,0 m) am 19.5.2006		
Aussaat	Gerät	Pneumatische HASSIA Einzelkornsämaschine	Pneumatische HEGE Einzelkornversuchssämaschine	Pneumatische Einzelkornsämaschine 'Monosem'
	Datum	19.5.2006	19.5./29.5.2006	19.5./30.5.2006
	Saatstärke (kf.K. m <sup>-2</sup> )	10	12	35
	Reihenabstand (cm)	75	50	25
	Sorte	Francisco	Alisson	Rona 1
Grunddüngung	Gerät	Einheitlich 120 kg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> , 320 kg K <sub>2</sub> O, 120 kg MgO am 19.4.2006		
N-Düngung	Gerät	Einheitlich RAUCH Aero 2215 (pneumatischer Düngerstreuer)		
	Düngerart	Einheitlich Alzon		
	Rein-N	235 kg ha <sup>-1</sup>	110 kg ha <sup>-1</sup>	160 kg ha <sup>-1</sup>
Auflaufen	Datum	30.5.2006	6.6.2006	6.6.2006
	Bestandesd. (Pfl. m <sup>-2</sup> )	9,0	10,6	25,9
Pflanzenschutz	Herbizide L o. kg ha <sup>-1</sup> (Datum)	Bandur 4 L (22.5.2006)	Bandur 4 L (22.5.2006)	Maschinenhacke (16.6.2006)
		Motivell 0,8 L + Clio 100 mL + Stomp SC 2,5 L + Formulierung Dash 1,0 L (19.6.2006)		Curol B 1,5 L (27.6.2006)

Tabelle A7.14. Anbaudaten für die Zweitfrüchte in dem Versuch zur Zweikulturnutzung in Forchheim 2006.

		Mais	Sonnenblume	Futterhirse
Beregnung mit Beregnungswagen	Variante 'Optimal'	20 mm (17.5. vor der Aussaat). 25 mm (14.6.), 24 mm (16.6.), 30 mm (22.6.), 30 mm (11.7.), 30 mm (17.7.), 30 mm (21.7.), 30 mm (28.7.); <u>Total: 200 mm</u>		
	Variante 'Minimal'	20 mm (17.5. vor der Aussaat). 30 mm (22.6.), 30 mm (21.7), 30 mm (25.7.); <u>Total: 90 mm</u>		
Grünschnitt	Gerät	Grünschnitt und Ernte HEGE Häcksler		
	Datum	12.7.2006	5.7.2006	18.7.2006
		27.7.2006	31.7.2006	31.7.2006
Ernte	Datum	14.8.2006	14.8.2006	15.8.2006
		19.9.2006	11.9.2006	8.9.2006
Bemerkungen		Wegen Vogelfraß war bei Sonnenblume und Futterhirse eine 2. Aussaat notwendig, danach Abdeckung mit Vlies. Die Sonnenblume wurde nach der Blüte mit einem engmaschigen Netz abgedeckt.		

Tabelle A7.15. Anbaudaten für die Zweitfrüchte in dem Versuch zur Zweikulturnutzung in Forchheim 2007.

		Sonnenblume	Futterhirse	Mais
Vorfrucht	Art	Welsches Weidelgras, Winterroggen	Welsches Weidelgras, Winterroggen	Welsches Weidelgras, Winterroggen, Winterraps
Bodenbearbeitung	Gerät	Einheitlich 4-Schar Volldrehpflug LEMKEN Vario am 10.5.2007		
	Tiefe	Einheitlich ca. 30 cm		
Saatbettbereitung	Gerät	Einheitlich Kreiselegge LANDSBERG (3,0 m)		
	Datum	11.5.2007	22.5.2007	11.5.2007
Aussaat	Gerät	Pneumatische HEGE Einzel- kornversuchssämaschine	Pneumatische Einzelkorn- sämaschine Monosem	Pneumatische Einzelkorn- sämaschine Monosem
	Datum	11.5.2007, Nachsaat am 22.5.2007	22.5.2007	11.5.2007
	Saatstärke (kf.K. m <sup>-2</sup> )	12	35	10
	Reihenabstand (cm)	50	25	75
	Sorte	Alisson	Rona 1	Francisco
Grunddüngung	Einheitlich keine			
N-Düngung	Gerät	Einheitlich RAUCH Aero 2215 (pneumatischer Düngerstreuer) am 25.5.2007		
	Düngerart	Einheitlich Alzon		
	Rein-N	110 kg ha <sup>-1</sup>	160 kg ha <sup>-1</sup>	235 kg ha <sup>-1</sup>
Auflaufen	Datum	21.5.2007	29.5.2007	22.5.2007
	Bestandesd. (Pfl. m <sup>-2</sup> )	11	16 (8-23)	9 (7-9)
Pflanzenschutz	Herbizide L o. kg ha <sup>-1</sup>	Maschinenhacke am	Maschinenhacke am	Clio Super 1,6 L am
	Datum	12.6.2007	11.6.2007	24.5.2007

Tabelle A7.15. Anbaudaten für die Zweitfrüchte in dem Versuch zur Zweikulturnutzung in Forchheim 2007.

		Sonnenblume	Futterhirse	Mais
Beregnung mit Beregnungswagen	Variante 'Optimal'	20 mm (16.7.), 20 mm (20.7.), 20 mm (25.7.), 20 mm (3.8.), 20 mm (22.8.), 20 mm (27.8.), 30 mm (29.8.); <u>Total: 150 mm</u>		
	Variante 'Minimal'	0 mm		
Grünschnitt	Gerät	Grünschnitt und Ernte HEGE Parzellenhäcksler 212r		
	Datum	25.6.2007	26.7.2007	9.7.2007
		26.7.2007	13.8.2007	27.7.2007
		27.8.2007	28.9.2007	27.8.2007
Ernte	Datum	13.9.2007	16.10.2007	19.9.2007
Bemerkungen	Wegen Taubenfraß war bei Sonnenblume eine 2. Aussaat (kompl. 3 Parz.) notwendig, danach nochmalig 2 Handnachsäten, Abdeckung mit Vlies. Die Sonnenblume wurde nach der Blüte mit einem engmaschigen Netz abgedeckt. Bei der Futterhirse wurde 1 Parzelle nochmals maschinell nachgesät.			



Tabelle A7.16. Anbaudaten für die Erstfrüchte in dem Versuch zur Bewässerung bei Zweikulturnutzung in Müncheberg 2005/2006.

		Welsches Weidelgras	Winterroggen	Winterroggen (Zw.frucht)
Vorfrucht	Art	Einheitlich Wintertriticale		
	Ernte	Einheitlich 1.8.2005		
	Stoppelbearbeitung	Ja		
Bodenbearbeitung	Gerät	Einheitlich 3-Schar-Beetpflug mit Nachläufer + Vierkantschleppen		
	Tiefe	Einheitlich 25 cm		
	Datum	Einheitlich 25.8.2005		
Aussaat	Gerät	Einheitlich AMAZONE Reifenpackerdrille mit Kreiselgrubber und Rollscharen		
	Datum	30.8.2005		21.9.2005
	Saatstärke	30.7 kg ha <sup>-1</sup>		92 kg ha <sup>-1</sup> (200 kf.K. m <sup>-2</sup> )
	Saattiefe	Einheitlich 2 cm		
	Reihenabstand	Einheitlich 10 cm		
	Sorte	Nabucco		Pollino
Grunddüngung	Gerät	Einheitlich AMAZONE Pneumatik		
	Menge	Einheitlich Thomaskali (P = 25, S = 16, K = 143, Mg = 15, und Ca = 117 kg ha <sup>-1</sup> )		
	Datum	Einheitlich 26.8.2005		
N-Düngung	Gerät	Einheitlich HARDY Feldspritze (5-Loch Düsen)		
	Menge	Einheitlich NTS (Harnstofflösung mit Schwefel). N = 40 und S = 4 kg ha <sup>-1</sup>		
	Datum	Einheitlich 22.9.2005		
	Gerät	Einheitlich HARDY Feldspritze (5-Loch Düsen)		
	Menge	Einheitlich NTS (Harnstofflösung mit Schwefel). N = 60 und S = 6,6 kg ha <sup>-1</sup>		
	Datum	Einheitlich 4.4.2006		

Tabelle A7.16. Anbaudaten für die Erstfrüchte in dem Versuch zur Bewässerung bei Zweikulturnutzung in Müncheberg 2005/2006.

		Welsches Weidelgras	Winterroggen	Winterroggen (Zw.frucht)
Auflaufen	Datum	7.9.2005	28.9.2005	28.9.2005
Pflanzenschutz	Herbizide L o. kg ha <sup>-1</sup>	Keine		Fenikan 2,0 L
	Datum			5.10.2005
	Herbizide L o. kg ha <sup>-1</sup>			Roundup Ultra Max 4,0 L
	Datum			10.4.2006
Ernte	Gerät	Einheitlich HALDRUP Grünfuttervollernter		
	Datum	Einheitlich 15.5.2006		
Bewässerung	Menge	Einheitlich keine Bewässerung		

Tabelle A7.17. Anbaudaten für die Erstfrüchte in dem Versuch zur Bewässerung bei Zweikulturnutzung in Müncheberg 2006/2007.

		Welsches Weidelgras	Winterroggen	Winterroggen (Zw.frucht)
Vorfrucht	Art	Einheitlich Wintergerste		
	Ernte	Einheitlich 11.7.2006		
	Stoppelbearbeitung	Ja		
Bodenbearbeitung	Gerät	Einheitlich 3-Schar-Drehpflug mit Nachläufer + 2 Vierkantschleppen		
	Tiefe	Einheitlich 23 cm		
	Datum	Einheitlich 25.8.2006		
Aussaat	Gerät	Einheitlich AMAZONE-Reifenpackerdrille mit Kreiselgrubber und Rollscharen		
	Datum	4.9.2006		20.9.2006
	Saatstärke	35 kg ha <sup>-1</sup>	96 kg ha <sup>-1</sup> / 200 keimfähige Körner m <sup>-2</sup>	
	Saattiefe	Einheitlich 2 cm		
	Reihenabstand	Einheitlich 10 cm		
	Sorte	Nabucco		Visello
Grunddüngung	Gerät	Einheitlich AMAZONE Pneumatic		
	Menge	Einheitlich Thomaskali (P = 25, S = 16, K = 143, Mg = 15 und Ca = 117 kg ha <sup>-1</sup> )		
	Datum	Einheitlich 23.8.2006		
N-Düngung	Gerät	Einheitlich HARDY Feldspritze (5-Loch-Düsen)		
	Menge	Harnstoffl. mit Schwefel (NTS). N = 70, S = 7 kg ha <sup>-1</sup>	NTS (N = 90 und S = 9 kg ha <sup>-1</sup> )	
	Datum	Einheitlich 8.3.2007		
Auflaufen	Datum	7.9.2006		28.9.2006
Pflanzenschutz	Herbizide	Keine	Keine	5 L ha <sup>-1</sup> Roundup Ultra Max am 8.3.2007
Ernte	Gerät	Einheitlich am 7.5.2007 mit HALDRUP Grünfuttermäher		
Bewässerung		Einheitlich keine Bewässerung		

Tabelle A7.18. Anbaudaten für die Zweitfrüchte in dem Versuch zur Bewässerung bei Zweikulturnutzung in Müncheberg 2006.

		Mais	Sonnenblume	Futterhirse
Vorfrucht	Art	Welsches Weidelgras, Grünschnittroggen bzw. Winterroggen (abgespritzt) als Winterzwischenfrucht		
	Ernte	Einheitliche Ernte von Welschem Weidelgras und Grünschnittroggen mit dem HALDRUP Grünfuttermäher am 15.5.2006		
Bodenbearbeitung	Gerät (Datum)	Einheitlich 3- Scharbeetpflug (B 105) + Nachlaufgerät (Dreikantringe, Crosskillwalze) plus 2 Vierkantschleppen am 25.4. (1. Termin) und am 19.5.2006 (2. Termin)		
	Tiefe	Einheitlich 25 cm		
Saatbettbereitung	Gerät	Einheitlich keine		
Aussaat	Gerät	BECKER Einzelkorndrille	AMAZONE Einzelkorndrille mit Kreiselgrubber und Reifenpacker	Reifenpackerdrille mit Kreiselgrubber und Rollscharen (AMAZONE)
	Datum	26.4. und 23.5.2006	26.4. und 23.5.2006	11.5. und 23.5.2006
	Saattiefe (cm)			
	Reihenabstand (cm)	75	50	50
	Sorte	Francisco	Alisson	Rona 1
Grunddüngung	Gerät	Siehe Anbaudaten für die Erstfrüchte		
N-Düngung	Gerät	Einheitlich Pflanzenschutzspritze mit Fünflochdüsen		
	Düngerart	Einheitlich NTS		
	Rein-N +S	180 kg ha <sup>-1</sup> + 19,8	100 kg ha <sup>-1</sup> + 11	150 kg ha <sup>-1</sup> + 16,5
	Datum	27.4. und 22.5. 2006		22.5.2006 einheitlich
Auflaufen	Datum	6.5. und 4.6.2006	6.5. und 4.6. 2006	6.6. beide
	Bestandesdichte (Pfl. m <sup>-2</sup> )	10,4	9,8	22,0
Pflanzenschutz	Herbizide L o. kg ha <sup>-1</sup>	Gardo Gold 0,25 L ha <sup>-1</sup>	Stomp SC 4,0 L ha <sup>-1</sup>	Certrol B 1,5 L ha <sup>-1</sup>
	Datum	12.5. und 26.6.2006	27.4. und 23.5.2006	12.6.2006

Tabelle A7.18. Anbaudaten für die Zweitfrüchte in dem Versuch zur Bewässerung bei Zweikulturnutzung in Müncheberg 2006.

		Mais	Sonnenblume	Futterhirse
Beregnung bzw. Bewässerung Menge (Datum)	Variante 'Optimal' 1. Aussaattermin	20 mm (12.6), 5 mm (15.6), 10 mm (22.6.), 10 mm (23.6.), 10 mm (29.6.), 10 mm (30.6.) 10 mm (3.7.), 10 mm (5.7.), 5 mm* (7.7.), 10 mm (8.7.), 10 mm (12.7.), 8 mm* (13.7.), 10 mm (17.7.), 20 mm (20.7.), 8 mm* (21.7.), 10 mm (25.7.), 20 mm (26.7.), 8 mm* (27.7.), 20 mm (28.7.), 10 mm* (4.8.); <u>Total: 224 mm</u>	20 mm (12.6), 5 mm (15.6), 10 mm (22.6.), 10 mm (23.6.), 10 mm (29.6.), 10 mm (30.6.) 10 mm (3.7.), 10 mm (5.7.), 5 mm* (7.7.), 10 mm (8.7.), 10 mm (12.7.), 8 mm* (13.7.), 10 mm (17.7.), 20 mm (20.7.), 8 mm* (21.7.), 10 mm (25.7.), 20 mm (26.7.), 8 mm* (27.7.), 20 mm (28.7.), 10 mm* (4.8.); <u>Total: 224 mm</u>	10 mm (22.6.), 10 mm (29.6.), 10 mm (30.6.) 10 mm (3.7.), 10 mm (5.7.), 5 mm* (7.7.), 10 mm (8.7.), 10 mm (12.7.), 8 mm* (13.7.), 10 mm (17.7.), 20 mm (20.7.), 8 mm* (21.7.), 10 mm (25.7.), 20 mm (26.7.), 8 mm* (27.7.), 10 mm (28.7.), 10 mm (2.8.), 10 mm* (4.8.); <u>Total: 189 mm</u>
	Variante 'Minimal' 1. Aussaattermin	Einheitlich 5 mm* (7.7.), 8 mm* (13.7.), 8 mm* (21.7.), 8 mm* (27.7.), 10 mm* (4.8.); <u>Total: 39 mm</u>		
	Variante 'Optimal' 2. Aussaattermin	10 mm (22.6.), 10 mm (23.6.), 20 mm (27.6.), 10 mm (29.6.), 10 mm (30.6.) 10 mm (3.7.), 10 mm (5.7.), 5 mm* (7.7.), 10 mm (8.7.), 10 mm (12.7.), 8 mm* (13.7.), 10 mm (17.7.), 20 mm (20.7.), 8 mm* (21.7.), 10 mm (25.7.), 20 mm (26.7.), 8 mm* (27.7.), 10 mm (28.7.), 10 mm (2.8.) 10 mm* (4.8.);	10 mm (22.6.), 10 mm (23.6.), 20 mm (27.6.), 10 mm (29.6.), 10 mm (30.6.) 10 mm (3.7.), 10 mm (5.7.), 5 mm* (7.7.), 10 mm (8.7.), 10 mm (12.7.), 8 mm* (13.7.), 10 mm (17.7.), 20 mm (20.7.), 8 mm* (21.7.), 10 mm (25.7.), 20 mm (26.7.), 8 mm* (27.7.), 20 mm (28.7.), 10 mm* (4.8.);	10 mm (22.6.), 10 mm (23.6.), 20 mm (27.6.), 10 mm (29.6.), 10 mm (30.6.) 10 mm (3.7.), 10 mm (5.7.), 5 mm* (7.7.), 10 mm (8.7.), 10 mm (12.7.), 8 mm* (13.7.), 10 mm (17.7.), 20 mm (20.7.), 8 mm* (21.7.), 10 mm (25.7.), 20 mm (26.7.), 8 mm* (27.7.), 10 mm (28.7.), 10 mm (2.8.) 10 mm* (4.8.); <u>Total: 219 mm</u>

Tabelle A7.18. Anbaudaten für die Zweitfrüchte in dem Versuch zur Bewässerung bei Zweikulturnutzung in Müncheberg 2006.

		Mais	Sonnenblume	Futterhirse
		(4.8.); <u>Total: 219 mm</u>	<u>Total: 219 mm</u>	
	Variante 'Minimal' 2. Aussaattermin	Einheitlich 5 mm* (7.7.), 8 mm* (13.7.), 8 mm* (21.7.), 8 mm* (27.7.), 10 mm* (4.8.); <u>Total: 39 mm</u>		
Ernte	1. Aussaattermin	von Hand 21.8.2006	von Hand 11.8.2006	HEGE 514 Parzellenernter 13.9. (opt. Bewässerung) und 21.9. (min. Bewässerung.)
	2. Aussaattermin	HEGE 514 Parzellenernter 7.9.2006 (opt. Bewässerung) und 21.9.2006 ('minimale' Bewässerung)	von Hand 4.9.2006	HEGE 514 Parzellenernter 13.9. ('optimale' Bewässerung) und 21.9. ('minimale' Bewässerung)
Bemerkungen		Zur Verhinderung von Vogelfraß Abdeckung mit Vlies nach der Aussaat. Bei der Sonnenblume wurden zur Verhinderung von Vogelfraß Crispac-Beutel über die Sonnenblumenköpfe der Erntereihen gezogen.		

\* Beregnung über Weitstrahlregner sonst Tropfbewässerung

Tabelle A7.19. Anbaudaten für die Zweitfrüchte in dem Versuch zur Bewässerung bei Zweikulturnutzung in Müncheberg 2007.

		Mais	Sonnenblume	Futterhirse
Vorfrucht	Art	Welsches Weidelgras, Grünschnittroggen bzw. Winterroggen (abgespritzt) als Winterzwischenfrucht		
	Ernte	Einheitliche Ernte von Welschem Weidelgras und Grünschnittroggen mit dem HALDRUP Grünfuttervollernter am 7.5. 2007		
Bodenbearbeitung	Gerät	3-Schar-Beetpflug (B 105) mit Nachlaufgerät (Dreikantringe, Crosskillwalze) + 2 Vierkantschleppen am 17.4.2007 (1. Aussaattermin) bzw. 10.5.2007 (2. Aussaattermin)		
	Tiefe	Einheitlich 23 cm		
Saatbettbereitung	Gerät	Keine		
Aussaat	Gerät	BECKER Einzelkorndrille	AMAZONE Einzelkorndrille mit Kreiselgrubber und Reifenpacker	AMAZONE Reifenpackerdrille mit Kreiselgrubber und Rollscharen
	Datum	18.4.2007 (1. Aussaat) bzw.	14.5.2007 (2. Aussaat)	14.5.2007 bzw. 29.5.2007
	Saattiefe	5 cm	3 cm	3 cm
	Reihenabstand	75 cm	50 cm	50 cm
	Sorte	Francisco	Alisson	Rona 1
Grunddüngung	Gerät	Nur bei Mais zur Aussaat 30 kg P ha <sup>-1</sup> als DAP; ansonsten s. Anbaudaten für die Erstfrüchte (Tabelle A7)		
N-Düngung	Gerät	Einheitlich Pflanzenschutzspritze mit Fünflochdüsen		
	Düngerart	NTS und DAP (DAP mit 27 N als Unterfußdüngung bei Mais)		
	Rein-N +S	180 kg N ha <sup>-1</sup> + 19,8	100 kg N ha <sup>-1</sup> + 11	150 kg N ha <sup>-1</sup> + 16,5
	Datum	20.4.2007 und 15.5. 2007		15.5.2007 und 1.6.2007
Auflaufen	Datum	4.5.2007 und 24.5.2007	4.5.2007 und 24.5.2007	24.5.2007 und 8.6.2007
	Bestandesdichte (Pfl. m <sup>-2</sup> )	10,5	8,0	20,3
Pflanzenschutz	Herbizide L o. kg ha <sup>-1</sup>	Gardo Gold 4,0 L ha <sup>-1</sup>	Stomp SC 4,0 L ha <sup>-1</sup>	Certrol B 1,5 L ha <sup>-1</sup>
	Datum	7.5.2007 und 29.5.2007	23.4.2007 und 15.5.2007	12.6.2007

Tabelle A7.19. Anbaudaten für die Zweitfrüchte in dem Versuch zur Bewässerung bei Zweikulturnutzung in Müncheberg 2007.

		Mais	Sonnenblume	Futterhirse
Bewässerung* Menge (Datum)	Variante 'Optimal'	10 mm (12.6), 10 mm	10 mm (12.6), 10 mm	10 mm (27.6.), 10 mm
	1. Aussaattermin	(15.6), 10 mm (27.6.), 10 mm (17.7.), 10 mm (17.7.), 10 mm (19.7.) 10 mm (20.7.), 5 mm (27.7.); <u>Total: 75 mm</u>	(15.6), 10 mm (27.6.), 10 mm (17.7.), 10 mm (17.7.), 10 mm (19.7.) 10 mm (20.7.), 5 mm (27.7.); <u>Total: 75 mm</u>	(17.7.), 10 mm (19.7.), 10 mm (20.7.), 5 mm (27.7.), 10mm (8.8.); <u>Total: 55 mm</u>
	Variante 'Minimal'	Keine Bewässerung		
	1. Aussaattermin			
2. Aussaattermin	Variante 'Optimal'	10 mm (12.6.), 10 mm	10 mm (12.6), 10 mm	10 mm (27.6.), 10 mm
	2. Aussaattermin	(15.6), 10 mm (27.6.), 10 mm (17.7.), 10 mm (19.7.) 10 mm (20.7.), 10 mm (27.7.), 10 mm (7.8.), 10 mm (8.8.); <u>Total: 90 mm</u>	(15.6), 10 mm (27.6.), 10 mm (17.7.), 10 mm (19.7.) 10 mm (20.7.), 5 mm (27.7.), 10 mm (7.8.), 10 mm (8.8.); <u>Total: 85 mm</u>	(17.7.), 10 mm (19.7.) 10 mm (20.7.), 5 mm (27.7.); <u>Total: 45 mm</u>
	Variante 'Minimal'	Keine Bewässerung		
	2. Aussaattermin			
Ernte	1. Aussaattermin	Per Hand 5.9.2007	Per Hand 22.8.2007 (min. Bew.) und 27.8.2007 (opt. Bew.)	HEGE 214 Parzellenernter 24.9. 2007
	2. Aussaattermin	HEGE 214 Parzellenernter 19.9.2007	von Hand 12.9.2007	HEGE 214 Parzellenernter 8.10.2007.
Bemerkungen		Zur Verhinderung von Vogelfraß wurden die Parzellen nach der Aussaat mit Vlies abgedeckt. Bei Sonnenblumen wurden in den Erntereihen zur Verhinderung von Vogelfraß Crispac-Beutel über die Sonnenblumenköpfe gezogen.		

\* Zusatzwasserausbringung durch Tropfbewässerung.



Tabelle A7.20. Mittelwerte der Erstfrüchte Grünschnittroggen und Welsches Weidelgras für Wuchshöhe, Nährstoffgehalte (i.d. TM), TM-Gehalt, Methanausbeute, Erträge und N-Entzug im Jahr 2006 am Standort Braunschweig.

Erstfrucht (E)	Wuchs- höhe cm	Roh- asche %	Roh- fett %	Roh- protein %	Roh- faser %	NfE %	TM- Gehalt %	CH <sub>4</sub> - Ausbeute L (kg oTM) <sup>-1</sup>	FM- Ertrag t ha <sup>-1</sup>	TM- Ertrag t ha <sup>-1</sup>	CH <sub>4</sub> - Ertrag m <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup>	N- Entzug kg ha <sup>-1</sup>
Grünschnittroggen	73	8,4	2,5	12,5	33,3	43,3	16,7	339	31,3	5,2	1.625	105
Welsches Weidelgras	43	9,7	2,6	11,6	25,1	51,1	16,5	353	27,4	4,5	1.444	84
GD ( $P < 0,05$ ) <sup>†</sup>	2	0,5	-	0,8	0,9	1,5	-	1	2,0	0,2	50	9
<u>Signifikanz der F-Werte aus der Varianzanalyse</u>												
E	**	**	NS	*	**	**	NS	**	**	**	**	**

<sup>†</sup> Grenzdifferenz für den Vergleich zwischen Erstfrüchten innerhalb eines Merkmals.

\*, \*\* Signifikant für  $P < 0,05$  und  $P < 0,01$ ; NS = nicht signifikant für  $P < 0,05$ .

NfE = Stickstofffreie Extraktstoffe.

Tabelle A7.21. Mittelwerte der Erstfrüchte Grünschnittroggen und Welsches Weidelgras für Wuchshöhe, Nährstoffgehalte (i.d. TM), TM-Gehalt, Methanausbeute, Erträge und N-Entzug im Jahr 2007 am Standort Braunschweig.

Erstfrucht (E)	Wuchs- höhe cm	Roh- asche %	Roh- fett %	Roh- protein %	Roh- faser %	NfE %	TM- Gehalt %	CH <sub>4</sub> - Ausbeute L (kg oTM) <sup>-1</sup>	FM- Ertrag t ha <sup>-1</sup>	TM- Ertrag t ha <sup>-1</sup>	CH <sub>4</sub> - Ertrag m <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup>	N- Entzug kg ha <sup>-1</sup>
Grünschnittroggen	74	5,9	2,4	8,6	33,5	49,5	23,8	315	30,8	7,3	2.166	101
Welsches Weidelgras	51	8,4	2,5	9,4	24,1	55,7	24,5	352	20,0	4,9	1.580	84
GD ( $P < 0,05$ ) <sup>†</sup>	2	0,6	-	-	1,4	1,5	0,6	1	1,4	0,4	119	14
<u>Signifikanz der F-Werte aus der Varianzanalyse</u>												
E	**	**	NS	NS	**	**	*	**	**	**	**	**

<sup>†</sup> Grenzdifferenz für den Vergleich zwischen Erstfrüchten innerhalb eines Merkmals.

\*, \*\* Signifikant für  $P < 0,05$  und  $P < 0,01$ ; NS = nicht signifikant für  $P < 0,05$ .

NfE = Stickstofffreie Extraktstoffe.

Tabelle A7.22. Einfluss von Wasserregime, Erstfrucht und Zweitfrucht auf Wuchshöhe, Nährstoffgehalte (i.d. TM), TM-Gehalt, Methanausbeute, Erträge und N-Entzug im Jahr 2006 am Standort Braunschweig.

Wasserregime (W)	Erstfrucht (E)	Zweitfrucht (Z)	Wuchshöhe cm	Rohasche %	Rohfett %	Rohprotein %	Rohfaser %	NfE %	TM-Gehalt %	CH <sub>4</sub> -Ausbeute L (kg oTM) <sup>-1</sup>	FM-Ertrag t ha <sup>-1</sup>	TM-Ertrag t ha <sup>-1</sup>	CH <sub>4</sub> -Ertrag m <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup>	N-Entzug kg ha <sup>-1</sup>		
'Minimal'	Grünschnittroggen	Mais	160	4,7	2,7	7,4	16,6	68,6	36,2	310	39,4	14,2	4.201	168		
		Sonnenblume	135	11,4	18,8	9,3	24,4	36,1	31,2	313	28,2	8,8	2.432	131		
		Futterhirse	192	4,4	1,4	7,4	24,4	62,4	26,5	241	45,1	11,9	2.754	142		
		Mittel	162	6,8	7,6	8,0	21,8	55,7	31,3	288	37,5	11,6	3.129	147		
	Welsches Weidelgras	Mais	162	4,8	2,7	6,7	16,3	69,6	36,5	310	39,1	14,2	4.206	152		
		Sonnenblume	125	11,1	16,8	8,7	25,0	38,4	30,7	308	25,2	7,7	2.122	108		
		Futterhirse	195	4,2	1,3	6,8	24,6	63,0	26,3	241	47,2	12,4	2.867	136		
		Mittel	161	6,7	6,9	7,4	21,9	57,0	31,2	287	37,2	11,5	3.065	132		
	Keine (Gelbsenf)	Mais	170	4,6	2,8	7,1	17,3	68,3	37,4	310	40,8	15,3	4.511	173		
		Sonnenblume	136	11,1	16,7	9,5	25,2	37,6	31,9	308	30,3	9,7	2.644	147		
		Futterhirse	177	4,3	1,5	7,9	24,6	61,8	27,2	242	44,1	12,0	2.774	151		
		Mittel	161	6,7	7,0	8,1	22,4	55,9	32,2	286	38,4	12,3	3.310	157		
		Mittel		161	6,7	7,2	7,9	22,0	56,2	31,6	287	37,7	11,8	3.168	145	
	'Optimal'	Grünschnittroggen	Mais	247	4,3	2,7	5,7	19,0	68,2	38,0	309	54,3	20,7	6.121	189	
			Sonnenblume	164	12,7	15,2	8,1	27,1	37,0	31,2	303	31,1	9,7	2.564	126	
Futterhirse			246	4,7	1,2	5,9	25,5	62,6	25,2	241	67,5	17,0	3.900	161		
Mittel			219	7,2	6,4	6,6	23,9	55,9	31,5	284	51,0	15,8	4.195	158		
Welsches Weidelgras		Mais	244	4,7	2,6	5,6	19,6	67,5	37,5	308	55,6	20,8	6.119	188		
		Sonnenblume	159	12,5	15,5	7,8	27,4	36,8	29,0	303	31,4	9,1	2.422	115		
		Futterhirse	244	4,7	1,4	5,6	24,9	63,4	24,8	241	71,7	17,7	4.080	159		
		Mittel	216	7,3	6,5	6,4	23,9	55,9	30,4	284	52,9	15,9	4.207	154		
Keine (Gelbsenf)		Mais	244	4,6	2,7	6,5	19,0	67,3	37,7	308	56,0	21,1	6.216	219		
		Sonnenblume	165	12,3	17,0	8,7	28,2	33,8	33,7	305	29,7	10,0	2.674	140		
		Futterhirse	236	4,8	1,3	6,0	25,3	62,7	24,8	241	72,3	17,9	4.114	171		
		Mittel	215	7,2	7,0	7,1	24,1	54,6	32,1	285	52,6	16,3	4.335	176		
		Mittel		217	7,2	6,6	6,7	24,0	55,5	31,3	285	52,2	16,0	4.246	163	
				GD ( $P < 0,05$ ) <sup>†</sup>	20	0,1	0,4	0,4	0,8	-	-	1	3,4	1,6	439	-
				GD ( $P < 0,05$ ) <sup>‡</sup>	-	-	-	-	0,8	-	-	-	-	-	-	-

Tabelle A7.22. Einfluss von Wasserregime, Erstfrucht und Zweitfrucht auf Wuchshöhe, Nährstoffgehalte (i.d. TM), TM-Gehalt, Methanausbeute, Erträge und N-Entzug im Jahr 2006 am Standort Braunschweig.

Wasser- regime (W)	Erstfrucht (E)	Zweitfrucht (Z)	Wuchs- höhe cm	Roh- asche %	Roh- fett %	Roh- protein %	Roh- faser %	NfE %	TM- Gehalt %	CH <sub>4</sub> - Ausbeute L (kg oTM) <sup>-1</sup>	FM- Ertrag t ha <sup>-1</sup>	TM- Ertrag t ha <sup>-1</sup>	CH <sub>4</sub> - Ertrag m <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup>	N- Entzug kg ha <sup>-1</sup>
<u>Signifikanz der F-Werte aus der Varianzanalyse</u>														
	W		**	**	*	**	**	NS	NS	**	**	**	**	NS
	E		NS	NS	NS	**	*	**	**	NS	NS	**	**	**
	E x W		NS	NS	NS	NS	NS	*	NS	NS	NS	NS	NS	NS
	Z		**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**
	Z x W		**	**	NS	NS	**	NS	*	**	**	**	**	**
	Z x E		NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
	Z x E x W		NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS

† Grenzdifferenz für Mittelwertvergleiche zwischen Wasserregimen innerhalb eines Merkmals.

‡ Grenzdifferenz für Mittelwertvergleiche von Erstfrucht x Wasserregime-Kombinationen innerhalb eines Merkmals.

\*, \*\* Signifikant für  $P < 0,05$  und  $P < 0,01$ ; NS = nicht signifikant für  $P < 0,05$ .

NfE = Stickstofffreie Extraktstoffe.

Tabelle A7.23. Einfluss von Wasserregime, Erstfrucht und Zweitfrucht auf Wuchshöhe, Nährstoffgehalte (i.d. TM), TM-Gehalt, Methanausbeute, Erträge und N-Entzug im Jahr 2007 am Standort Braunschweig.

Wasser- regime (W)	Erstfrucht (E)	Zweitfrucht (Z)	Wuchs- höhe cm	Roh- asche %	Roh- fett %	Roh- protein %	Roh- faser %	NfE %	TM- Gehalt %	CH <sub>4</sub> - Ausbeute L (kg oTM) <sup>-1</sup>	FM- Ertrag t ha <sup>-1</sup>	TM- Ertrag t ha <sup>-1</sup>	CH <sub>4</sub> - Ertrag m <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup>	N- Entzug kg ha <sup>-1</sup>
'Minimal'	Grünschnitt- roggen	Mais	255	5,9	2,4	7,3	20,8	63,7	28,1	297	79,5	22,4	6.270	261
		Sonnenblume	200	11,2	15,3	7,3	27,6	38,6	23,6	303	49,6	11,7	3.137	136
		Futterhirse	208	4,8	1,2	6,9	23,9	63,2	25,8	241	68,7	17,7	4.054	196
		Mittel	221	7,3	6,3	7,2	24,1	55,2	25,8	280	65,9	17,2	4.487	198
	Welsches Weidelgras	Mais	254	5,8	2,3	7,5	19,7	64,7	28,1	298	77,7	21,8	6.117	261
		Sonnenblume	199	11,2	15,4	8,2	29,0	36,3	23,8	301	52,0	12,4	3.316	163
		Futterhirse	212	4,8	1,2	7,2	24,4	62,4	25,8	241	64,7	16,7	3.825	193
		Mittel	222	7,3	6,3	7,6	24,4	54,5	25,9	280	64,8	17,0	4.419	206
	Keine (Gelbsef)	Mais	262	5,3	2,7	7,3	21,3	63,5	31,4	298	78,4	24,7	6.960	287
		Sonnenblume	209	11,3	14,8	8,5	28,7	36,7	29,7	300	35,9	10,5	2.800	142
		Futterhirse	199	5,4	1,2	7,4	27,4	58,6	24,4	242	70,4	17,2	3.925	203
		Mittel	223	7,4	6,2	7,7	25,8	52,9	28,5	280	61,6	17,4	4.562	211
	Mittel		222	7,3	6,3	7,5	24,7	54,2	26,7	280	64,1	17,2	4.489	205
'Optimal'	Grünschnitt- roggen	Mais	263	6,0	2,3	7,2	21,4	63,1	26,9	297	87,3	23,5	6.563	271
		Sonnenblume	199	11,1	14,8	7,2	29,4	37,6	23,5	300	50,3	11,8	3.144	136
		Futterhirse	226	5,1	1,0	6,6	23,8	63,4	25,5	240	68,4	17,4	3.979	185
		Mittel	229	7,4	6,0	7,0	24,9	54,7	25,3	279	68,7	17,6	4.562	197
	Welsches Weidelgras	Mais	264	5,9	2,4	7,5	19,9	64,2	27,2	298	86,1	23,4	6.561	281
		Sonnenblume	200	11,2	14,9	7,6	29,4	36,9	23,6	300	50,7	11,9	3.174	146
		Futterhirse	223	5,1	1,1	7,4	24,4	62,1	25,4	241	69,8	17,8	4.061	210
		Mittel	229	7,4	6,1	7,5	24,6	54,4	25,4	280	68,8	17,7	4.599	212
	Keine (Gelbsef)	Mais	261	5,5	2,8	7,7	20,3	63,7	31,3	299	83,0	26,0	7.343	318
		Sonnenblume	203	10,8	15,7	8,5	28,3	36,7	29,6	302	40,5	11,8	3.186	160
		Futterhirse	208	5,1	1,0	7,3	26,1	60,5	25,0	241	72,5	18,1	4.139	210
		Mittel	224	7,1	6,5	7,8	24,9	53,6	28,6	281	65,3	18,6	4.890	229
	Mittel		228	7,3	6,2	7,4	24,8	54,2	26,4	280	67,6	18,0	4.683	213
			4	-	-	-	-	-	-	2,5	-	-	-	
			-	0,2	-	-	0,4	0,5	-	1	-	0,4	119	6

Tabelle A7.23. Einfluss von Wasserregime, Erstfrucht und Zweitfrucht auf Wuchshöhe, Nährstoffgehalte (i.d. TM), TM-Gehalt, Methanausbeute, Erträge und N-Entzug im Jahr 2007 am Standort Braunschweig.

Wasser- regime (W)	Erstfrucht (E)	Zweitfrucht (Z)	Wuchs- höhe cm	Roh- asche %	Roh- fett %	Roh- protein %	Roh- faser %	NfE %	TM- Gehalt %	CH <sub>4</sub> - Ausbeute L (kg oTM) <sup>-1</sup>	FM- Ertrag t ha <sup>-1</sup>	TM- Ertrag t ha <sup>-1</sup>	CH <sub>4</sub> - Ertrag m <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup>	N- Entzug kg ha <sup>-1</sup>
<u>Signifikanz der F-Werte aus der Varianzanalyse</u>														
	W		*	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	*	NS	NS	NS
	E		NS	NS	NS	**	**	**	*	NS	**	**	**	**
	E x W		NS	*	NS	NS	**	**	NS	*	NS	*	*	**
	Z		**	**	**	**	**	**	*	**	**	**	**	**
	Z x W		*	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
	Z x E		*	NS	NS	NS	**	*	**	NS	**	*	*	NS
	Z x E x W		NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS

† Grenzdifferenz für Mittelwertvergleiche zwischen Wasserregimen innerhalb eines Merkmals.

‡ Grenzdifferenz für Mittelwertvergleiche von Erstfrucht x Wasserregime-Kombinationen innerhalb eines Merkmals.

\*, \*\* Signifikant für  $P < 0,05$  und  $P < 0,01$ ; NS = nicht signifikant für  $P < 0,05$ .

NfE = Stickstofffreie Extraktstoffe.

Tabelle A7.24. Mittelwerte der Erstfrüchte Grünschnittroggen, Welsches Weidelgras und Winterraps für Wuchshöhe, Nährstoffgehalte (i.d. TM), TM-Gehalt, Methanausbeute, Erträge und N-Entzug im Jahr 2006 am Standort Forchheim.

Erstfrucht (E)	Wuchs- höhe cm	Roh- asche %	Roh- fett %	Roh- protein %	Roh- faser %	NfE %	TM- Gehalt %	CH <sub>4</sub> - Ausbeute L <sub>1</sub> (kg oTM) <sup>-</sup>	FM- Ertrag t ha <sup>-1</sup>	TM- Ertrag t ha <sup>-1</sup>	CH <sub>4</sub> - Ertrag m <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup>	N- Entzug kg ha <sup>-1</sup>
Grünschnittroggen	87	5,8	2,3	10,3	33,2	48,4	21,1	316	30,1	6,3	1.881	104
Welsches Weidelgras	65	8,0	2,0	9,5	25,2	55,4	19,8	322	27,6	5,4	1.606	82
Winterraps	119	8,7	2,1	14,9	29,3	44,9	19,6	353	14,6	2,8	920	68
GD ( $P < 0,05$ ) <sup>†</sup>	6	1,2	0,1	0,5	1,2	1,9	1,1	0,4	3,2	0,5	165	10
<u>Signifikanz der F-Werte aus der Varianzanalyse</u>												
E	**	**	**	**	**	**	*	**	**	**	**	**

<sup>†</sup> Grenzdifferenz für den Vergleich zwischen Erstfrüchten innerhalb eines Merkmals.

\*, \*\* Signifikant für  $P < 0,05$  und  $P < 0,01$ ; NS = nicht signifikant für  $P < 0,05$ .

NfE = Stickstofffreie Extraktstoffe.

Tabelle A7.25. Mittelwerte der Erstfrüchte Grünschnittroggen, Welsches Weidelgras und Winterraps für Wuchshöhe, Nährstoffgehalte (i.d. TM), TM-Gehalt, Methanausbeute, Erträge und N-Entzug im Jahr 2007 am Standort Forchheim.

Erstfrucht (E)	Wuchs- höhe cm	Roh- asche %	Roh- fett %	Roh- protein %	Roh- faser %	NfE %	TM- Gehalt %	CH <sub>4</sub> - Ausbeute L (kg oTM) <sup>-1</sup>	FM- Ertrag t ha <sup>-1</sup>	TM- Ertrag t ha <sup>-1</sup>	CH <sub>4</sub> - Ertrag m <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup>	N- Entzug kg ha <sup>-1</sup>
Grünschnittroggen	52	7,7	3,7	13,3	24,2	51,1	24,2	342	16,6	4,0	1.265	85
Welsches Weidelgras	36	9,7	3,3	11,3	20,8	54,8	37,2	348	7,0	2,6	811	46
Winterraps	126	13,9	3,0	17,1	33,2	32,8	16,0	350	37,6	6,0	1.803	164
GD ( $P < 0,05$ ) <sup>†</sup>	5	0,6	0,5	0,9	1,1	1,5	1,6	1	5,2	0,9	270	24
<u>Signifikanz der F-Werte aus der Varianzanalyse</u>												
E	**	**	NS	**	**	**	**	**	**	**	**	**

<sup>†</sup> Grenzdifferenz für den Vergleich zwischen Erstfrüchten innerhalb eines Merkmals.

\*, \*\* Signifikant für  $P < 0,05$  und  $P < 0,01$ ; NS = nicht signifikant für  $P < 0,05$ .

NfE = Stickstofffreie Extraktstoffe.



Tabelle A7.26. Einfluss von Wasserregime, Erstfrucht und Zweitfrucht auf Wuchshöhe, Nährstoffgehalte (i.d. TM), TM-Gehalt, Methan- ausbeute, Erträge und N-Entzug im Jahr 2006 am Standort Forchheim.

Wasser- regime (W)	Erstfrucht (E)	Zweitfrucht (Z)	Wuchs- höhe cm	Roh- asche %	Roh- fett %	Roh- protein %	Roh- faser %	NfE %	TM- Gehalt %	CH <sub>4</sub> - Ausbeute L (kg oTM) <sup>-1</sup>	FM- Ertrag t ha <sup>-1</sup>	TM- Ertrag t ha <sup>-1</sup>	CH <sub>4</sub> - Ertrag m <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup>	N- Entzug kg ha <sup>-1</sup>	
'Minimal'	Grünschnitt- roggen	Mais	250	3,8	2,5	8,2	18,6	67,0	31,3	294	45,9	14,4	4.065	187	
		Sonnenblume	125	10,4	13,0	9,6	28,1	39,0	29,2	264	28,3	8,3	1.953	125	
		Futterhirse	229	5,1	2,5	7,2	25,8	59,4	25,3	244	54,0	13,6	3.162	156	
		<b>Mittel</b>	<b>202</b>	<b>6,4</b>	<b>6,0</b>	<b>8,3</b>	<b>24,1</b>	<b>55,1</b>	<b>28,6</b>	<b>267</b>	<b>42,7</b>	<b>12,1</b>	<b>3.060</b>	<b>156</b>	
	Welsches Weidelgras	Mais	248	3,6	2,7	8,0	19,8	65,9	31,6	294	44,8	14,2	4.009	182	
		Sonnenblume	116	8,4	13,7	10,1	25,4	42,5	27,2	264	25,1	6,8	1.649	111	
		Futterhirse	212	5,0	2,6	8,0	27,1	57,3	26,1	244	50,7	13,2	3.071	169	
		<b>Mittel</b>	<b>192</b>	<b>5,7</b>	<b>6,3</b>	<b>8,7</b>	<b>24,1</b>	<b>55,2</b>	<b>28,3</b>	<b>267</b>	<b>40,2</b>	<b>11,4</b>	<b>2.910</b>	<b>154</b>	
	Winterraps <sup>#</sup>	Mais	250	3,8	2,6	9,2	17,8	66,6	32,1	294	48,4	15,5	4.392	227	
		Sonnenblume	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
		Futterhirse	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
		<b>Mittel</b>	<b>250</b>	<b>3,8</b>	<b>2,6</b>	<b>9,2</b>	<b>17,8</b>	<b>66,6</b>	<b>32,1</b>	<b>294</b>	<b>48,4</b>	<b>15,5</b>	<b>4.392</b>	<b>227</b>	
	<b>Mittel</b>		<b>197</b>	<b>6,0</b>	<b>6,2</b>	<b>8,5</b>	<b>24,1</b>	<b>55,2</b>	<b>28,4</b>	<b>267</b>	<b>41,5</b>	<b>11,8</b>	<b>2.985</b>	<b>155</b>	
	'Optimal'	Grünschnitt- roggen	Mais	291	3,6	2,4	6,8	19,7	67,5	33,7	295	47,8	16,1	4.575	174
			Sonnenblume	147	8,8	14,8	9,1	26,7	40,6	28,3	267	29,9	8,4	2.052	123
Futterhirse			281	5,3	2,5	5,2	25,8	61,3	25,4	244	62,5	15,9	3.664	134	
<b>Mittel</b>			<b>240</b>	<b>5,9</b>	<b>6,6</b>	<b>7,0</b>	<b>24,0</b>	<b>56,5</b>	<b>29,1</b>	<b>268</b>	<b>46,7</b>	<b>13,5</b>	<b>3.430</b>	<b>144</b>	
Welsches Weidelgras		Mais	291	3,5	2,4	7,1	20,8	66,3	33,2	293	47,8	15,8	4.484	179	
		Sonnenblume	150	9,4	12,4	8,1	28,2	41,9	27,2	260	29,7	8,1	1.888	103	
		Futterhirse	280	5,0	2,2	5,6	24,8	62,3	25,2	243	59,0	14,9	3.434	133	
		<b>Mittel</b>	<b>240</b>	<b>6,0</b>	<b>5,7</b>	<b>6,9</b>	<b>24,6</b>	<b>56,8</b>	<b>28,5</b>	<b>265</b>	<b>45,5</b>	<b>12,9</b>	<b>3.269</b>	<b>138</b>	
Winterraps <sup>#</sup>		Mais	288	3,5	2,6	8,4	18,2	67,3	32,0	294	51,8	16,6	4.717	226	
		Sonnenblume	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
		Futterhirse	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
		<b>Mittel</b>	<b>288</b>	<b>3,5</b>	<b>2,6</b>	<b>8,4</b>	<b>18,2</b>	<b>67,3</b>	<b>32,0</b>	<b>294</b>	<b>51,8</b>	<b>16,6</b>	<b>4.717</b>	<b>226</b>	
<b>Mittel</b>			<b>240</b>	<b>6,4</b>	<b>6,1</b>	<b>7,0</b>	<b>24,3</b>	<b>56,7</b>	<b>28,8</b>	<b>267</b>	<b>46,1</b>	<b>13,2</b>	<b>3.349</b>	<b>141</b>	
GD ( $P < 0,05$ ) <sup>†</sup>				29	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
GD ( $P < 0,05$ ) <sup>‡</sup>				7	0,3	0,4	-	-	-	2	-	-	-	-	

Tabelle A7.26. Einfluss von Wasserregime, Erstfrucht und Zweitfrucht auf Wuchshöhe, Nährstoffgehalte (i.d. TM), TM-Gehalt, Methan- ausbeute, Erträge und N-Entzug im Jahr 2006 am Standort Forchheim.

Wasser- regime (W)	Erstfrucht (E)	Zweitfrucht (Z)	Wuchs- höhe cm	Roh- asche %	Roh- fett %	Roh- protein %	Roh- faser %	NfE %	TM- Gehalt %	CH <sub>4</sub> - Ausbeute L (kg oTM) <sup>-1</sup>	FM- Ertrag t ha <sup>-1</sup>	TM- Ertrag t ha <sup>-1</sup>	CH <sub>4</sub> - Ertrag m <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup>	N- Entzug kg ha <sup>-1</sup>
<u>Signifikanz der F-Werte aus der Varianzanalyse</u>														
W			*	NS	NS	*	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
E			NS	**	*	NS	NS	NS	*	*	**	**	**	NS
E x W			*	**	**	NS	NS	NS	NS	**	NS	NS	NS	NS
Z			**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**
Z x W			*	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
Z x E			NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
Z x E x W			NS	*	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS

<sup>†</sup> Grenzdifferenz für Mittelwertvergleiche zwischen Wasserregimen innerhalb eines Merkmals. <sup>‡</sup> Grenzdifferenz für Mittelwertvergleiche von Erstfrucht x Wasserregime-Kombinationen innerhalb eines Merkmals.

\*, \*\* Signifikant für  $P < 0,05$  und  $P < 0,01$ ; NS = nicht signifikant für  $P < 0,05$ .

NfE = Stickstofffreie Extraktstoffe

# Nach Winterraps nur Zweitfrucht Silomais

Tabelle A7.27. Einfluss von Wasserregime, Erstfrucht und Zweitfrucht auf Wuchshöhe, Nährstoffgehalte (i.d. TM), TM-Gehalt, Methanausbeute, Erträge und N-Entzug im Jahr 2007 am Standort Forchheim.

Wasser- regime (W)	Erstfrucht (E)	Zweiffrucht (Z)	Wuchs- höhe cm	Roh- asche %	Roh- fett %	Roh- protein %	Roh- faser %	NfE %	TM- Gehalt %	CH <sub>4</sub> - Ausbeute L (kg oTM) <sup>-1</sup>	FM- Ertrag t ha <sup>-1</sup>	TM- Ertrag t ha <sup>-1</sup>	CH <sub>4</sub> - Ertrag m <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup>	N- Entzug kg ha <sup>-1</sup>
'Minimal'	Grüsnitt- roggen	Mais	248	3,8	2,4	11,5	19,3	63,0	30,8	296	53,0	16,3	4.654	300
		Sonnenblume	166	11,6	12,4	12,0	27,9	36,1	29,9	295	26,3	7,9	2.052	151
		Futterhirse	245	3,8	1,2	6,9	24,5	63,6	30,3	241	58,2	17,7	4.084	196
		<b>Mittel</b>	<b>219</b>	<b>6,4</b>	<b>5,4</b>	<b>10,1</b>	<b>23,9</b>	<b>54,2</b>	<b>30,4</b>	<b>277</b>	<b>45,8</b>	<b>13,9</b>	<b>3.597</b>	<b>216</b>
	Welsches Weidelgras	Mais	248	4,1	2,7	11,3	20,0	61,9	32,4	297	50,4	16,4	4.651	296
		Sonnenblume	170	15,5	12,9	12,4	25,5	33,7	30,1	298	28,9	8,7	2.172	172
		Futterhirse	246	3,6	1,2	6,8	24,3	64,1	30,7	241	61,2	18,8	4.358	203
		<b>Mittel</b>	<b>221</b>	<b>7,8</b>	<b>5,6</b>	<b>10,2</b>	<b>23,2</b>	<b>53,3</b>	<b>31,1</b>	<b>279</b>	<b>46,8</b>	<b>14,6</b>	<b>3.727</b>	<b>224</b>
	Winterraps <sup>#</sup>	Mais	247	4,2	2,2	11,6	20,8	61,2	31,9	295	49,1	15,7	4.415	290
		Sonnenblume	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		Futterhirse	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		<b>Mittel</b>	<b>247</b>	<b>4,2</b>	<b>2,2</b>	<b>11,6</b>	<b>20,8</b>	<b>61,2</b>	<b>31,9</b>	<b>295</b>	<b>49,1</b>	<b>15,7</b>	<b>4.415</b>	<b>290</b>
<b>Mittel</b>		<b>220</b>	<b>7,1</b>	<b>5,5</b>	<b>10,2</b>	<b>23,6</b>	<b>53,7</b>	<b>30,7</b>	<b>278</b>	<b>46,3</b>	<b>14,3</b>	<b>3.662</b>	<b>220</b>	
'Optimal'	Grüsnitt- roggen	Mais	266	3,0	2,4	9,7	18,6	66,3	33,2	298	72,7	24,1	6.951	374
		Sonnenblume	167	11,5	14,3	11,6	26,4	36,3	26,5	301	39,2	10,4	2.759	192
		Futterhirse	275	4,1	1,2	7,0	22,8	64,9	28,4	241	76,0	21,6	4.978	240
		<b>Mittel</b>	<b>236</b>	<b>6,2</b>	<b>5,9</b>	<b>9,4</b>	<b>22,6</b>	<b>55,9</b>	<b>29,4</b>	<b>280</b>	<b>62,6</b>	<b>18,7</b>	<b>4.896</b>	<b>269</b>
	Welsches Weidelgras	Mais	254	3,2	2,5	9,9	18,6	65,8	34,3	298	66,6	22,9	6.604	363
		Sonnenblume	172	9,9	17,5	13,0	24,8	34,8	24,8	308	40,1	9,9	2.752	207
		Futterhirse	280	3,9	1,2	6,6	22,8	65,6	28,5	240	80,9	23,0	5.319	245
		<b>Mittel</b>	<b>235</b>	<b>5,7</b>	<b>7,0</b>	<b>9,9</b>	<b>22,1</b>	<b>55,4</b>	<b>29,2</b>	<b>282</b>	<b>62,5</b>	<b>18,6</b>	<b>4.892</b>	<b>272</b>
	Winteraps <sup>#</sup>	Mais	259	2,9	2,2	10,3	15,0	69,6	32,3	299	68,9	22,3	6.472	368
		Sonnenblume	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		Futterhirse	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		<b>Mittel</b>	<b>259</b>	<b>2,9</b>	<b>2,2</b>	<b>10,3</b>	<b>15,0</b>	<b>69,6</b>	<b>32,3</b>	<b>299</b>	<b>68,9</b>	<b>22,3</b>	<b>6.472</b>	<b>368</b>
<b>Mittel</b>		<b>235</b>	<b>5,9</b>	<b>6,5</b>	<b>9,6</b>	<b>22,3</b>	<b>55,6</b>	<b>29,3</b>	<b>281</b>	<b>62,6</b>	<b>18,6</b>	<b>4.894</b>	<b>270</b>	
GD ( $P < 0,05$ ) <sup>†</sup>		-	-	0,5	-	-	-	0,9	3	4,3	1,0	186	9	
GD ( $P < 0,05$ ) <sup>‡</sup>		-	1,2	0,6	0,3	-	-	0,5	1	-	-	-	-	

Tabelle A7.27. Einfluss von Wasserregime, Erstfrucht und Zweitfrucht auf Wuchshöhe, Nährstoffgehalte (i.d. TM), TM-Gehalt, Methanausbeute, Erträge und N-Entzug im Jahr 2007 am Standort Forchheim.

Wasser- regime (W)	Erstfrucht (E)	Zweitfrucht (Z)	Wuchs- höhe cm	Roh- asche %	Roh- fett %	Roh- protein %	Roh- faser %	NfE %	TM- Gehalt %	CH <sub>4</sub> - Ausbeute L (kg oTM) <sup>-1</sup>	FM- Ertrag t ha <sup>-1</sup>	TM- Ertrag t ha <sup>-1</sup>	CH <sub>4</sub> - Ertrag m <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup>	N- Entzug kg ha <sup>-1</sup>
<u>Signifikanz der F-Werte aus der Varianzanalyse</u>														
	W		NS	NS	**	NS	NS	NS	*	*	**	**	**	**
	E		NS	NS	**	*	**	NS	NS	**	NS	NS	NS	NS
	E x W		NS	*	*	*	NS	NS	*	**	NS	NS	NS	NS
	Z		**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**
	Z x W		NS	NS	**	*	NS	NS	**	*	NS	**	**	NS
	Z x E		NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
	Z x E x W		NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS

† Grenzdifferenz für Mittelwertvergleiche zwischen Wasserregimen innerhalb eines Merkmals. ‡ Grenzdifferenz für Mittelwertvergleiche von Erstfrucht x Wasserregime-Kombinationen innerhalb eines Merkmals.

\*, \*\* Signifikant für  $P < 0,05$  und  $P < 0,01$ ; NS = nicht signifikant für  $P < 0,05$ .

NfE = Stickstofffreie Extraktstoffe.

# Nach Winterraps nur Zweitfrucht Silomais.

Tabelle A7.28. Mittelwerte der Erstfrüchte Grünschnittroggen und Welsches Weidelgras für Wuchshöhe, Nährstoffgehalte (i.d. TM), TM-Gehalt, Methanausbeute, Erträge und N-Entzug im Jahr 2006 am Standort Müncheberg.

Erstfrucht (E)	Wuchs- höhe cm	Roh- asche %	Roh- fett %	Roh- protein %	Roh- faser %	NfE %	TM- Gehalt %	CH <sub>4</sub> - Ausbeute L (kg oTM) <sup>-1</sup>	FM- Ertrag t ha <sup>-1</sup>	TM- Ertrag t ha <sup>-1</sup>	CH <sub>4</sub> - Ertrag m <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup>	N- Entzug kg ha <sup>-1</sup>
Grünschnittroggen	76	6,1	2,5	9,3	31,3	50,8	24,0	315	27,1	6,4	1.908	96
Welsches Weidelgras	44	7,7	2,2	9,5	22,6	58,0	24,6	337	16,5	4,0	1.252	61
GD ( $P < 0,05$ ) <sup>†</sup>	3	0,2	0,3	-	1,4	1,7	-	0,7	3,1	0,5	159	11
<u>Signifikanz der F-Werte aus der Varianzanalyse</u>												
E	**	**	*	NS	**	**	NS	**	**	**	**	**

<sup>†</sup> Grenzdifferenz für den Vergleich zwischen Erstfrüchten innerhalb eines Merkmals.

\*, \*\* Signifikant für  $P < 0,05$  und  $P < 0,01$ ; NS = nicht signifikant für  $P < 0,05$ .

NfE = Stickstofffreie Extraktstoffe.

Tabelle A7.29. Mittelwerte der Erstfrüchte Grünschnittroggen und Welsches Weidelgras für Wuchshöhe, Nährstoffgehalte (i.d. TM), TM-Gehalt, Methanausbeute, Erträge und N-Entzug im Jahr 2007 am Standort Müncheberg.

Erstfrucht (E)	Wuchs- höhe cm	Roh- asche %	Roh- fett %	Roh- protein %	Roh- faser %	NfE %	TM- Gehalt %	CH <sub>4</sub> - Ausbeute L (kg oTM) <sup>-1</sup>	FM- Ertrag t ha <sup>-1</sup>	TM- Ertrag t ha <sup>-1</sup>	CH <sub>4</sub> - Ertrag m <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup>	N- Entzug kg ha <sup>-1</sup>
Grünschnittroggen	68	5,5	2,5	9,1	28,9	54,1	26,2	315	29,8	7,8	2.321	113
Welsches Weidelgras	45	7,1	2,0	7,3	21,0	62,6	27,1	336	17,7	4,8	1.496	57
GD ( $P < 0,05$ ) <sup>†</sup>	3	0,6	0,5	0,7	1,6	2,3	-	1	2,2	0,5	154	11
<u>Signifikanz der F-Werte aus der Varianzanalyse</u>												
E	**	**	*	**	**	**	NS	**	**	**	**	**

<sup>†</sup> Grenzdifferenz für den Vergleich zwischen Erstfrüchten innerhalb eines Merkmals.

\*, \*\* Signifikant für  $P < 0,05$  und  $P < 0,01$ ; NS = nicht signifikant für  $P < 0,05$ .

NfE = Stickstofffreie Extraktstoffe.

Tabelle A7.30. Einfluss von Wasserregime und Erstfrucht auf Wuchshöhe, Nährstoffgehalte (i.d. TM), TM-Gehalt, Methanausbeute, Erträge und N-Entzug der Zweitfrüchte im Jahr 2006 am Standort Müncheberg.

Wasser- regime (W)	Erstfrucht (E)	Zweitfrucht (Z)	Wuchs- höhe cm	Roh- asche %	Roh- fett %	Roh- protein %	Roh- faser %	NfE %	TM- Gehalt %	CH <sub>4</sub> - Ausbeute L (kg oTM) <sup>-1</sup>	FM- Ertrag t ha <sup>-1</sup>	TM- Ertrag t ha <sup>-1</sup>	CH <sub>4</sub> - Ertrag m <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup>	N- Entzug kg ha <sup>-1</sup>	
'Minimal'	Grünschnitt- roggen	Mais	126	4,6	2,1	9,2	20,2	63,9	29,9	300	28,0	8,4	2.398	123	
		Sonnenblume	76	10,6	18,1	10,0	26,6	34,7	23,9	309	32,7	7,8	2.162	124	
		Futterhirse	142	4,8	1,7	8,8	22,6	62,1	29,1	242	34,1	10,0	2.309	138	
		Mittel	115	6,7	7,3	9,3	23,1	53,6	27,6	284	31,6	8,7	2.290	128	
	Welsches Weidelgras	Mais	128	4,5	2,2	8,7	19,2	65,5	31,6	303	27,4	8,8	2.560	122	
		Sonnenblume	74	10,1	17,8	10,5	26,4	35,2	22,5	308	28,6	6,4	1.770	106	
		Futterhirse	134	4,5	1,6	8,5	24,6	60,8	29,0	242	31,1	9,0	2.089	121	
		Mittel	112	6,4	7,2	9,2	23,4	53,8	27,7	284	29,1	8,1	2.140	116	
	Keine (W-Roggen Roundup)	Mais	155	4,5	2,4	8,9	19,8	64,4	30,1	301	51,2	15,5	4.470	222	
		Sonnenblume	107	10,3	15,1	8,9	29,7	36,0	27,0	300	29,1	7,8	2.093	111	
		Futterhirse	162	4,5	1,8	7,2	24,6	61,9	29,0	242	44,4	12,9	2.977	148	
		Mittel	141	6,4	6,4	8,4	24,7	54,1	28,7	281	41,6	12,0	3.180	160	
		Mittel		123	6,5	7,0	9,0	23,7	53,8	28,0	283	34,1	9,6	2.537	135
	'Optimal'	Grünschnitt- roggen	Mais	234	4,4	2,2	5,6	24,7	63,1	30,5	304	59,1	18,0	5.220	160
			Sonnenblume	124	9,8	18,2	7,5	29,7	34,7	24,5	306	43,4	10,6	2.912	126
Futterhirse			200	4,3	1,8	5,4	23,2	65,3	28,6	242	59,4	16,8	3.886	143	
Mittel			186	6,2	7,4	6,1	25,9	54,4	27,8	284	54,0	15,1	4.006	143	
Welsches Weidelgras		Mais	252	4,1	2,2	5,9	22,7	65,1	30,5	305	68,3	20,8	6.078	198	
		Sonnenblume	129	10,4	17,0	8,8	27,6	36,3	22,7	306	44,6	10,1	2.773	142	
		Futterhirse	219	4,4	1,8	5,4	23,4	65,0	28,9	242	59,9	17,3	3.997	149	
		Mittel	200	6,3	7,0	6,7	24,5	55,5	27,4	284	57,6	16,1	4.282	163	
Keine (W-Roggen Roundup)		Mais	230	4,1	2,1	6,3	22,5	65,0	28,5	304	81,1	23,1	6.749	234	
		Sonnenblume	140	10,0	14,7	7,9	31,2	36,2	23,7	297	52,8	12,5	3.341	158	
		Futterhirse	224	4,5	1,8	5,9	24,9	63,0	29,0	242	61,4	17,8	4.119	168	
		Mittel	198	6,2	6,2	6,7	26,2	54,7	27,1	281	65,1	17,8	4.737	187	
		Mittel		195	6,2	6,9	6,5	25,5	54,9	27,4	283	58,9	16,3	4.342	164
		GD ( $P < 0,05$ ) <sup>†</sup>		15	-	1,7	-	1,2	-	2,8	3	9,3	3,1	841	42
		GD ( $P < 0,05$ ) <sup>‡</sup>		6	-	-	0,5	0,9	-	0,4	-	2,7	0,8	246	10

Tabelle A7.30. Einfluss von Wasserregime und Erstfrucht auf Wuchshöhe, Nährstoffgehalte (i.d. TM), TM-Gehalt, Methanausbeute, Erträge und N-Entzug der Zweitfrüchte im Jahr 2006 am Standort Müncheberg.

Wasser- regime (W)	Erstfrucht (E)	Zweitfrucht (Z)	Wuchs- höhe cm	Roh- asche %	Roh- fett %	Roh- protein %	Roh- faser %	NfE %	TM- Gehalt %	CH <sub>4</sub> - Ausbeute L (kg oTM) <sup>-1</sup>	FM- Ertrag t ha <sup>-1</sup>	TM- Ertrag t ha <sup>-1</sup>	CH <sub>4</sub> - Ertrag m <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup>	N- Entzug kg ha <sup>-1</sup>
<u>Signifikanz der F-Werte aus der Varianzanalyse</u>														
	W		**	NS	NS	**	*	NS	NS	NS	**	**	**	NS
	E		**	NS	**	NS	**	NS	*	**	**	**	**	**
	E x W		**	NS	NS	**	*	NS	**	NS	**	**	**	**
	Z		**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**
	Z x W		**	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	**	**	**	NS
	Z x E		NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	**	**	**	*
	Z x E x W		NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	*	NS	NS	NS

† Grenzdifferenz für Mittelwertvergleiche zwischen Wasserregimen innerhalb eines Merkmals.

‡ Grenzdifferenz für Mittelwertvergleiche von Erstfrucht x Wasserregime-Kombinationen innerhalb eines Merkmals.

\*, \*\* Signifikant für  $P < 0,05$  und  $P < 0,01$ ; NS = nicht signifikant für  $P < 0,05$ .

NfE = Stickstofffreie Extraktstoffe.



Tabelle A7.31. Einfluss von Wasserregime und Erstfrucht auf Wuchshöhe, Nährstoffgehalte (i.d. TM), TM-Gehalt, Methanausbeute, Erträge und N-Entzug der Zweitfrüchte im Jahr 2007 am Standort Müncheberg.

Wasser- regime (W)	Erstfrucht (E)	Zweitfrucht (Z)	Wuchs- höhe cm	Roh- asche %	Roh- fett %	Roh- protein %	Roh- faser %	NfE %	TM- Gehalt %	CH <sub>4</sub> - Ausbeute L (kg oTM) <sup>-1</sup>	FM- Ertrag t ha <sup>-1</sup>	TM- Ertrag t ha <sup>-1</sup>	CH <sub>4</sub> - Ertrag m <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup>	N- Entzug kg ha <sup>-1</sup>	
'Minimal'	Grünschnitt- roggen	Mais	223	3,8	2,6	6,6	19,0	68,1	33,5	308	65,0	22,2	6.581	233	
		Sonnenblume	144	10,1	18,6	9,2	25,9	36,1	43,5	311	31,6	13,7	3.816	200	
		Futterhirse	214	4,3	1,2	6,5	21,5	66,6	27,1	240	59,2	16,0	3.679	166	
		Mittel	194	6,0	7,5	7,4	22,1	56,9	34,7	286	51,9	17,3	4.692	200	
	Welsches Weidelgras	Mais	229	3,8	3,0	5,6	18,6	69,1	35,2	310	67,9	24,0	7.168	215	
		Sonnenblume	147	9,8	18,7	9,5	26,1	35,9	38,1	311	31,3	12,0	3.349	184	
		Futterhirse	205	3,9	1,3	5,5	21,7	67,8	27,7	240	56,3	15,6	3.595	136	
		Mittel	193	5,8	7,7	6,9	22,1	57,6	33,7	287	51,8	17,2	4.704	178	
	Keine (W-Roggen Roundup)	Mais	228	3,3	2,9	6,7	17,9	69,2	34,5	308	73,3	25,4	7.561	277	
		Sonnenblume	153	9,5	19,5	8,5	25,5	37,0	33,8	313	30,5	10,3	2.927	143	
		Futterhirse	225	4,3	1,5	5,7	22,3	66,3	28,1	241	62,2	17,4	4.015	159	
		Mittel	202	5,7	8,0	7,0	21,9	57,5	32,2	287	55,4	17,7	4.834	193	
	Mittel		196	5,9	7,7	7,1	22,0	57,3	33,5	287	53,0	17,4	4.743	190	
	'Optimal'	Grünschnitt- roggen	Mais	251	3,8	2,8	5,9	19,6	67,9	33,6	307	79,1	26,7	7.881	252
			Sonnenblume	152	9,8	17,5	8,6	26,5	37,7	37,6	308	31,4	11,8	3.275	164
Futterhirse			232	4,4	1,4	6,1	21,5	66,6	27,3	241	63,7	17,4	4.006	169	
Mittel			212	6,0	7,2	6,9	22,5	57,4	32,8	285	58,1	18,6	5.054	195	
Welsches Weidelgras		Mais	241	3,8	2,4	5,5	20,5	67,9	34,0	305	78,8	27,0	7.931	237	
		Sonnenblume	153	9,4	19,5	8,6	25,4	37,1	35,7	313	31,9	11,2	3.164	155	
		Futterhirse	227	4,1	1,4	5,7	21,8	67,0	27,5	240	62,5	17,2	3.967	157	
		Mittel	207	5,8	7,7	6,6	22,6	57,3	32,4	286	57,7	18,5	5.021	183	
Keine (W-Roggen Roundup)		Mais	250	3,8	2,5	6,1	20,0	67,7	33,4	307	83,8	28,1	8.308	275	
		Sonnenblume	164	10,3	18,0	7,9	26,2	37,6	38,2	310	27,8	10,5	2.918	137	
		Futterhirse	239	4,6	1,5	6,3	22,5	65,1	27,0	241	73,4	19,8	4.559	199	
		Mittel	218	6,2	7,3	6,8	22,9	56,8	32,9	286	61,7	19,5	5.261	204	
Mittel			212	6,0	7,4	6,7	22,7	57,2	32,7	286	59,1	18,9	5.112	194	
GD ( $P < 0,05$ ) <sup>†</sup>				4	-	-	-	-	-	-	-	5,7	1,7	508	21
GD ( $P < 0,05$ ) <sup>‡</sup>				-	0,3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Tabelle A7.31. Einfluss von Wasserregime und Erstfrucht auf Wuchshöhe, Nährstoffgehalte (i.d. TM), TM-Gehalt, Methanausbeute, Erträge und N-Entzug der Zweitfrüchte im Jahr 2007 am Standort Müncheberg.

Wasser- regime (W)	Erstfrucht (E)	Zweitfrucht (Z)	Wuchs- höhe cm	Roh- asche %	Roh- fett %	Roh- protein %	Roh- faser %	NfE %	TM- Gehalt %	CH <sub>4</sub> - Ausbeute L (kg oTM) <sup>-1</sup>	FM- Ertrag t ha <sup>-1</sup>	TM- Ertrag t ha <sup>-1</sup>	CH <sub>4</sub> - Ertrag m <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup>	N- Entzug kg ha <sup>-1</sup>
<u>Signifikanz der F-Werte aus der Varianzanalyse</u>														
	W		**	NS	NS	*	NS	NS	NS	NS	*	NS	NS	NS
	E		**	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	**	**	**	**
	E x W		NS	**	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
	Z		**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**
	Z x W		NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	**	*	*	NS
	Z x E		NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	*	*	NS	NS
	Z x E x W		NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS

† Grenzdifferenz für Mittelwertvergleiche zwischen Wasserregimen innerhalb eines Merkmals.

‡ Grenzdifferenz für Mittelwertvergleiche von Erstfrucht x Wasserregime-Kombinationen innerhalb eines Merkmals.

\*, \*\* Signifikant für  $P < 0,05$  und  $P < 0,01$ ; NS = nicht signifikant für  $P < 0,05$ .

NfE = Stickstofffreie Extraktstoffe.

Tabelle A7.32. Anbaudaten für den Versuch zum Artenvergleich in Forchheim 2005.

		Futterrüben	Sudangras	Mais	Mais/So.bl.	Topinambur	Futterhirse	Sonnenbl.
Vorfrucht		Einheitlich Wintergerste						
Bodenbearbeitung	Gerät	Pflug einheitlich am 10.1.2005 Grubber einheitlich 2.4.2005 Kreiselegge am Tag der Aussaat (siehe unten)						
	Aussaat Datum	13.4.2005	3.5.2005	27.4.2005	27.4.2005	4.4.2005	9.5.2005	12.4.2005 (30.4.2005*)
	Saatstärke (keimf.K.m <sup>-2</sup> )	10	115	9	9/12	4 - 5	94	12
	Sorte	Colosse	Susu	Gavott, Mikado, Doge	Doge/ Alisson	Rozo	Rona 1	Alisson
Auflaufen	Datum	25.4.2005	13.5.2005	10.5.2005	10.5.2005	25.4.2005	13.5.2005	12.5.2005
Pflanzenschutz	Herbizide L bzw. kg ha <sup>-1</sup> (Datum)	1,25 L Betanal Expert + 1 L Goltix (10.5.)		1,25 L + 1,25 L Spektrum Plus Pack mit Stomp. Motivell 0,8 L (17.5.)	Handhacke (6.6.)	Maschinen- hacke und Häufeln (12.5.)	Stomp 4 L (10.5.)	Bandur 4 L (24.4.)
	Fungizide	Opus 1,0 L (15.7.)						
	Ernte	Gerät	Kraut von Hand, Rübenroder	Die übrigen Fruchtarten einheitlich mit dem HEGE Häcksler				
	Datum	20.10.2005	Schnitte:	Gavott:	7.9.2005	Kraut und	17.8.2005	11.8.2005

Tabelle A7.32. Anbaudaten für den Versuch zum Artenvergleich in Forchheim 2005.

	Futterrüben	Sudangras	Mais	Mais/So.bl.	Topinambur	Futterhirse	Sonnenbl.
		22.7. und 2.11.2005	14.9.2005 (‘Minimal’), 23.9.2005 (‘Optimal’). Mikado: 23.9.2005 (‘Minimal’), 17.10.2005 (‘Optimal’). Doge: 17.10.2005		Knollen: 23.9. und 13.12.2005		
Sonstiges		Vereinzelt am 9.5.2005					

\* Die Sonnenblumen mussten wegen Vogelfraß am 30.4.2005 zum 2. Mal gesät werden.

Tabelle A7.33. Anbaudaten für den Versuch zum Artenvergleich in Forchheim 2006.

		Futterrüben	Sudangras	Mais	Mais/So.bl.	Topinambur	Futterhirse	Sonnenbl.
Vorfrucht		Einheitlich Winterraps						
Boden- bearbeitung	Gerät	Einheitlich Grubber 12.04.2006						
		Kreiselegge am Tag der Aussaat (siehe unten)						
Aussaat	Datum	20.4.2006	16.5.2006	24.4.2006	24.4.2006	19.4.2006	16.5.2006	24.4.2006 (30.4.2006*)
	Saatstärke (kf.K.m <sup>-2</sup> )	12	115	10	10	4 - 5	35	12
	Sorte	Colosse	Susu	Gavott, Mikado, Doge	Doge/ Alisson	Rozo	Rona 1	Alisson
Auflaufen	Datum	2.5.2006	24.5.2006	4.5.2006	4.5./2.5.	11.5.2006	25.5.2006	2.5.2006
Pflanzen- schutz	Herbizide L bzw. kg ha <sup>-1</sup> (Datum)	Fusilade Max 0,75 L	Corul B 1,5 L (14.6.2006)	Spektrum 1L Stomp SC 2 L (12.5.2006)	Bandur 4 L (24.4.2006)	Hacken und Häufeln (17.5.2006) und (6.6.2006)	Corul B 1,5 L (14.6.2006)	Bandur 4 L (24.4.2006)
		Betanal Expert 1,25 L	Maschinen- hacke (16.6.2006)				Maschinen- hacke (16.6.2006)	Fusilade 1,0 L (22.5.2006)
		Goltix 1,0 L (16.5.2006)	Handhacke (20.6.2006)					Maschinen- hacke (29.5.2006)
		Goltix 1,0 L + Betanal Expert 1,25 L (6.6.2006)						
	Insektizide	Karate Zeon 0,075 L						
	Fungizide	1,0 L Spyrale (7.9.2006)						

Tabelle A7.33. Anbaudaten für den Versuch zum Artenvergleich in Forchheim 2006.

		Futterrüben	Sudangras	Mais	Mais/So.bl.	Topinambur	Futterhirse	Sonnenbl.
Ernte	Gerät	Kraut von Hand, Rübenroder	Die übrigen Fruchtarten einheitlich mit dem HEGE Häcksler					
	Datum	Blatt: 24./25.10.2006 Rüben: 26.10.2006	1. Schnitt: 9.8.2006 2. Schnitt: 24.10.2006	Gavott: 10.8.2006 Mikado: 5.10.2006 Doge: 24.10.2006	2.8.2006	Kraut: 20.9.2006 Knollen 16.1.2007	12.9.2006	2.8.2006

\* Die Sonnenblumen mussten wegen Vogelfraß am 30.4.2005 zum 2. Mal gesät werden.

Tabelle A7.34. Anbaudaten für den Versuch zum Artenvergleich in Forchheim 2007.

		Futterrüben	Sudangras	Mais (Gavott)	Mais (Mikado)	Mais (Doge)	Mais/Sonnenblume	Topinambur	Zuckerhirse	Sonnenblumen
Vorfrucht		Senf	Senf	Senf	Senf	Senf	Senf	Senf	Senf	Senf
Bodenbearbeitung	Pflug	23.1.2007	23.1.2007	23.1.2007	23.1.2007	23.1.2007	23.1.2007	23.1.2007	23.1.2007	23.1.2007
	Grubber	4.4.2007	4.4.2007	4.4.2007	04.4.2007	4.4.2007	4.4.2007	4.4.2007	4.4.2007	4.4.2007
	Kreisel- egge	20.4.2007	20.4.2007	20.4.2007	20.4.2007	20.4.2007	20.4.2007	20.4.2007	20.4.2007	20.4.2007
Aussaat	Datum	20.4.2007	22.5.2007	24.4.2007*	24.4.2007*	24.4.2007*	24.4.2007	20.4.2007	22.5.2007*	24.4.2007
	Saatstärke (kf. K./m <sup>2</sup> )	12	115	10	10	10	10	4 - 5	35	12
	Reihen- abstand (m)	0,50	0,25	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,25	0,50
	Anzahl Reihen	4	10	4	4	4	4	4	10	4
	Parzellen- größe (m <sup>2</sup> )	20	25	30	30	30	30	30	25	
	Sorte	Colosse	Susu	Gavott	Mikado	Doge	ES Ultrastar/ ES Petunia	Rozo	Rona	Alisson
Auflaufen	Datum	2.5.2007	29.5.2007	2.5.2007 (18.5.2007)	2.5.2007 (18.5.2007)	2.5.2007 (18.5.2007)	2.5.2007	8.5.2007	29.5.2007 (11.6.2007)	2.5.2007
Pflanzenschutz	Herbizide (pro ha)	Fusilade Max 0,75 l	Hacken	ClioSuper 1,6 l	ClioSuper 1,6 l	ClioSuper 1,6 l	Maschinen-/ Handhacke	Hacken/ Häufeln	Maschinen- hacke	Bandur 4 l
		Betanal Expert 1,25 L Goltix 1,0 L Debut 30g 21.5.2007 24. 7.2007/ 13.8.2007	11.6.2007	24.5.2007	24.5.2007	24.5.2007	23./30.5.- 5.6.2007	22.5.2007	20.6.2007	25.4.2007

Tabelle A7.34. Anbaudaten für den Versuch zum Artenvergleich in Forchheim 2007.

		Futterrüben	Sudangras	Mais (Gavott)	Mais (Mikado)	Mais (Doge)	Mais/Sonnenblume	Topinambur	Zuckerhirse	Sonnenblumen
		Spirale 1L								
Berechnung	Variante 'Minimal'	Keine	Keine	Keine	Keine	Keine	Keine	Keine	Keine	Keine
	Variante 'Optimal'	Je 20 mm am 20.7.2007, 25.7.2007, 30.7.2007, 3.8.2007, 24.8.2007, 29.08.2007; <u>Total: 120 mm</u>	Je 20 mm am 20.7.2007, 25.7.2007, 30.7.2007, 3.8.2007, 24.8.2007, 29.08.2007; <u>Total: 120 mm</u>	Je 20 mm am 20.7.2007, 25.7.2007, 30.7.2007, 3.8.2007; <u>Total: 80 mm</u>	Je 20 mm am 20.7.2007, 25.7.2007, 30.7.2007, 3.8.2007, 24.8.2007, 29.08.2007; <u>Total: 120 mm</u>	Je 20 mm am 20.7.2007, 25.7.2007, 30.7.2007, 3.8.2007, 24.8.2007, 29.08.2007; <u>Total: 120 mm</u>	Je 20 mm am 20.7.2007, 25.7.2007, 30.7.2007, 3.8.2007; <u>Total: 80 mm</u>	Je 20 mm am 20.7.2007, 25.7.2007, 30.7.2007, 3.8.2007, 24.8.2007, 29.08.2007; <u>Total: 120 mm</u>	Je 20 mm am 20.7.2007, 25.7.2007, 30.7.2007, 3.8.2007, 24.8.2007, 29.08.2007; <u>Total: 120 mm</u>	Je 20 mm am 20.7.2007, 25.7.2007, 30.7.2007, 3.8.2007; <u>Total: 80 mm</u>
Ernte	Datum	Kraut 19.10.2007 Rübe 22.10.2007	8.10.2007	14.8.2007	1.10.2007	15.10.2007	14.8.2007	Kraut 5.10.2007 Knollen 13.2.2008	15.10.2007	14.8.2007
Bemerkungen	* Mais wurde punktuell nach Wildschweinfraß am 4. bzw. 7.5.2007 manuell bzw. maschinell nachgesät. Futterhirse wurde punktuell nach Krähenfraß am 31.5.2007 maschinell nachgesät. Mais/Sonnenblume, Sonnenblume und Zuckerhirse wurden nach Aussaat bzw. vor Ernte mit Vlies bzw. Vogelschutznetzen abgedeckt.									



Tabelle A7.35. Einfluss von Wasser- und Düngungsregime auf Nährstoffgehalte (i.d. TM), TM-Gehalt, Methanausbeute, Erträge und N-Entzug im Mittel der Jahre 2005 am Standort Forchheim.

Wasser- regime (W)	Düngungs- regime (D)	Fruchtart (F)	Roh- asche %	Roh- fett %	Roh- protein %	Roh- faser %	NfE %	TM- Gehalt %	CH <sub>4</sub> - Ertrag m <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup>	FM- Ertrag t ha <sup>-1</sup>	TM- Ertrag t ha <sup>-1</sup>	CH <sub>4</sub> - Ausbeute L (kg oTM) <sup>-1</sup>	N- Entzug kg ha <sup>-1</sup>	
'Minimal'	ogL	Mais Gavott	4,28	1,90	8,1	22,7	63,0	34,3	5.065	52,1	17,9	296	232	
		Mais Mikado	3,94	1,73	6,7	23,9	63,7	29,0	4.749	57,8	16,7	295	179	
		Mais Doge	3,98	2,04	6,1	25,7	62,2	30,8	5.340	61,1	18,8	295	183	
		Futterhirse	4,96	0,82	7,9	27,3	59,0	23,2	3.078	47,7	11,1	293	140	
		Sudangras	5,89	0,89	9,1	31,7	52,4	24,9	4.118	70,6	17,6	249	257	
		Sonnenblume	9,38	12,52	12,8	22,1	43,2	24,1	3.132	47,7	11,5	302	235	
		Mais/Sonnenbl.	7,61	3,67	7,1	28,4	53,2	31,0	3.684	44,6	13,8	288	156	
		Topinambur	8,13	0,78	11,8	15,8	63,4	23,8	3.867	60,8	14,6	288	275	
		Futterrübe	11,75	0,23	6,3	5,2	76,5	16,5	6.065	117,2	19,4	355	197	
	<b>Mittel</b>			<b>6,66</b>	<b>2,73</b>	<b>8,4</b>	<b>22,5</b>	<b>59,6</b>	<b>26,4</b>	<b>4.344</b>	<b>62,2</b>	<b>15,7</b>	<b>296</b>	<b>206</b>
	P,K,Mg	Mais Gavott	4,55	2,05	8,5	21,8	63,0	34,2	4.522	46,7	15,9	297	218	
		Mais Mikado	4,25	1,60	8,0	22,6	63,5	28,6	4.193	51,9	14,8	296	191	
		Mais Doge	4,17	2,04	7,2	25,7	61,0	29,7	4.956	59,1	17,5	295	200	
		Futterhirse	4,76	1,11	9,0	27,5	57,7	21,6	2.848	46,9	10,2	294	146	
		Sudangras	5,80	1,06	8,9	28,9	55,3	24,9	4.851	83,0	20,7	249	296	
		Sonnenblume	9,51	16,13	13,6	21,8	39,0	21,7	2.815	46,4	10,1	309	220	
		Mais/Sonnenbl.	7,74	4,55	8,3	27,4	52,0	29,0	3.338	42,8	12,4	291	165	
		Topinambur	8,40	0,93	12,7	17,6	60,3	24,2	3.743	59,4	14,2	287	290	
		Futterrübe	11,65	0,26	9,3	6,3	72,5	15,1	5.830	124,3	18,8	350	278	
	<b>Mittel</b>			<b>6,76</b>	<b>3,30</b>	<b>9,5</b>	<b>22,2</b>	<b>58,3</b>	<b>25,5</b>	<b>4.122</b>	<b>62,3</b>	<b>15,0</b>	<b>296</b>	<b>223</b>
	BGG +++	Mais Gavott	4,45	2,27	9,8	21,2	62,4	34,3	4.822	49,4	17,0	298	264	
		Mais Mikado	4,19	1,84	8,4	23,1	62,5	28,3	4.622	57,7	16,3	296	218	
		Mais Doge	4,44	2,01	7,6	25,4	60,5	29,6	5.326	64,0	18,9	295	230	
		Futterhirse	5,16	0,91	8,6	27,5	57,8	21,5	2.797	46,8	10,0	294	138	
		Sudangras	5,70	1,14	9,6	28,6	54,9	23,1	4.460	82,6	19,1	248	294	
		Sonnenblume	9,58	12,54	13,4	22,1	42,4	22,7	2.595	42,1	9,6	302	205	
		Mais/Sonnenbl.	7,76	4,24	8,1	28,7	51,2	29,8	3.114	39,2	11,7	289	152	
		Topinambur	9,52	0,90	12,4	18,8	58,3	23,9	3.378	54,8	13,1	285	259	
		Futterrübe	11,01	0,30	10,3	6,5	72,0	14,4	4.825	108,8	15,6	347	255	
	<b>Mittel</b>			<b>6,87</b>	<b>2,90</b>	<b>9,8</b>	<b>22,4</b>	<b>58,0</b>	<b>25,3</b>	<b>3.993</b>	<b>60,6</b>	<b>14,6</b>	<b>295</b>	<b>224</b>
	<b>Mittel</b>			<b>6,76</b>	<b>2,98</b>	<b>9,3</b>	<b>22,4</b>	<b>58,6</b>	<b>25,7</b>	<b>4.153</b>	<b>61,7</b>	<b>15,1</b>	<b>296</b>	<b>217</b>

Tabelle A7.35. Einfluss von Wasser- und Düngungsregime auf Nährstoffgehalte (i.d. TM), TM-Gehalt, Methanausbeute, Erträge und N-Entzug im Mittel der Jahre 2005 am Standort Forchheim.

Wasser- regime (W)	Düngungs- regime (D)	Fruchtart (F)	Roh- asche %	Roh- fett %	Roh- protein %	Roh- faser %	NfE %	TM- Gehalt %	CH <sub>4</sub> - Ertrag m <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup>	FM- Ertrag t ha <sup>-1</sup>	TM- Ertrag t ha <sup>-1</sup>	CH <sub>4</sub> - Ausbeute L (kg oTM) <sup>-1</sup>	N- Entzug kg ha <sup>-1</sup>	
'Optimal'	ogL	Mais Gavott	3,57	2,26	6,8	20,6	66,8	35,5	6.341	62,2	22,0	299	235	
		Mais Mikado	3,20	1,83	5,8	21,3	67,9	36,3	6.094	58,1	21,1	298	195	
		Mais Doge	3,46	2,06	5,1	24,9	64,5	32,3	6.432	69,7	22,5	296	183	
		Futterhirse	5,09	0,79	8,1	28,2	57,8	23,8	3.575	54,0	12,8	293	167	
		Sudangras	5,90	1,07	8,9	31,3	52,8	19,5	3.272	71,2	13,9	251	198	
		Sonnenblume	9,66	13,20	12,2	23,5	41,4	26,5	3.521	48,8	12,9	302	251	
		Mais/Sonnenbl.	7,62	2,59	7,3	29,6	52,9	28,8	3.738	49,5	14,2	285	166	
		Topinambur	7,20	0,62	8,6	18,4	65,1	26,9	5.351	76,7	20,6	280	284	
		Futterrübe	9,16	0,22	5,6	5,2	79,8	18,5	8.022	152,6	24,8	356	220	
		<b>Mittel</b>			<b>6,09</b>	<b>2,74</b>	<b>7,6</b>	<b>22,6</b>	<b>61,0</b>	<b>27,6</b>	<b>5.150</b>	<b>71,4</b>	<b>18,3</b>	<b>296</b>
	P,K,Mg	Mais Gavott	4,17	2,24	7,4	20,7	65,5	34,6	6.632	66,9	23,2	299	274	
		Mais Mikado	3,92	1,82	6,4	22,8	65,0	36,5	7.159	68,9	25,1	297	258	
		Mais Doge	3,84	1,91	5,3	26,4	62,6	31,2	7.524	85,2	26,6	295	225	
		Futterhirse	4,92	0,76	7,7	27,4	59,2	21,0	3.304	56,5	11,9	293	146	
		Sudangras	6,29	1,04	9,4	30,7	52,6	19,4	4.218	93,1	18,0	250	270	
		Sonnenblume	9,87	10,95	10,9	24,7	43,5	22,9	3.605	59,5	13,5	296	236	
		Mais/Sonnenbl.	7,40	2,45	6,9	29,7	53,6	26,3	4.210	60,8	16,0	284	177	
		Topinambur	7,13	0,72	9,6	21,5	61,1	24,0	5.519	59,6	21,5	276	331	
		Futterrübe	8,91	0,29	6,5	5,8	78,5	14,6	9.149	184,1	28,3	354	295	
		<b>Mittel</b>			<b>6,27</b>	<b>2,46</b>	<b>7,8</b>	<b>23,3</b>	<b>60,2</b>	<b>25,6</b>	<b>5.702</b>	<b>81,6</b>	<b>20,5</b>	<b>294</b>
	BGG +++	Mais Gavott	3,59	2,63	7,2	19,4	67,3	33,1	7.136	74,5	24,6	301	282	
		Mais Mikado	3,61	2,32	6,2	21,0	66,9	34,5	7.755	77,7	26,9	299	265	
		Mais Doge	4,05	2,14	5,8	25,1	63,5	30,8	7.934	91,2	28,1	295	260	
		Futterhirse	4,74	1,10	8,9	26,9	58,4	20,6	3.769	65,4	13,4	294	190	
		Sudangras	6,50	1,53	9,6	28,7	53,7	19,2	4.671	104,4	20,0	250	307	
		Sonnenblume	9,58	15,49	13,9	22,7	38,4	24,6	3.709	54,4	13,4	306	297	
		Mais/Sonnenbl.	6,63	4,61	8,0	26,9	53,9	24,4	4.498	67,8	16,5	292	210	
		Topinambur	7,57	0,73	9,1	23,9	58,7	27,1	5.041	77,8	19,8	275	289	
		Futterrübe	8,18	0,35	6,5	5,9	79,0	14,2	8.874	177,6	27,4	352	285	
<b>Mittel</b>				<b>6,05</b>	<b>3,47</b>	<b>8,3</b>	<b>22,3</b>	<b>60,0</b>	<b>25,4</b>	<b>5.932</b>	<b>87,9</b>	<b>21,1</b>	<b>296</b>	<b>265</b>
<b>Mittel</b>			<b>6,14</b>	<b>2,88</b>	<b>7,9</b>	<b>22,7</b>	<b>60,4</b>	<b>26,2</b>	<b>5.595</b>	<b>80,3</b>	<b>20,0</b>	<b>295</b>	<b>241</b>	

Tabelle A7.35. Einfluss von Wasser- und Düngungsregime auf Nährstoffgehalte (i.d. TM), TM-Gehalt, Methanausbeute, Erträge und N-Entzug im Mittel der Jahre 2005 am Standort Forchheim.

Wasser- regime (W)	Düngungs- regime (D)	Fruchtart (F)	Roh- asche %	Roh- fett %	Roh- protein %	Roh- faser %	NfE %	TM- Gehalt %	CH <sub>4</sub> - Ertrag m <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup>	FM- Ertrag t ha <sup>-1</sup>	TM- Ertrag t ha <sup>-1</sup>	CH <sub>4</sub> - Ausbeute L (kg oTM) <sup>-1</sup>	N- Entzug kg ha <sup>-1</sup>
GD ( $P < 0,05$ ) <sup>†</sup>			0,2	-	0,1	-	0,4	0,2	163,2	2,15	0,6	0,7	6,1
GD ( $P < 0,05$ ) <sup>‡</sup>			0,4	-	0,4	0,8	1,2	0,6	260,9	3,65	0,9	2,1	12,3
<u>Signifikanz der F-Werte aus der Varianzanalyse</u>													
W			**	NS	**	NS	**	**	**	**	**	NS	**
D			NS	NS	**	NS	**	**	**	**	**	NS	**
W x D			NS	*	**	*	NS	**	**	**	**	**	**
F			**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**
F x W			**	NS	**	**	**	**	**	**	**	**	**
F x D			NS	NS	**	**	**	**	**	**	**	NS	**
F x D x W			NS	*	**	NS	*	*	NS	**	NS	NS	**

<sup>†</sup> Grenzdifferenz für Mittelwertvergleiche zwischen Wasserregimen innerhalb eines Merkmals.

<sup>‡</sup> Grenzdifferenz für Mittelwertvergleiche von Wasserregime x Fruchtart-Kombinationen innerhalb eines Merkmals.

\*, \*\* Signifikant für  $P < 0,05$  und  $P < 0,01$ ; NS = nicht signifikant für  $P < 0,05$ .

NfE = Stickstofffreie Extraktstoffe.

Tabelle A7.36. Einfluss von Wasser- und Düngungsregime auf Nährstoffgehalte (i.d. TM), TM-Gehalt, Methanausbeute, Erträge und N-Entzug im Jahr 2006 am Standort Forchheim.

Wasser- regime (W)	Düngungs- regime (D)	Fruchtart (F)	Roh- asche %	Roh- fett %	Roh- protein %	Roh- faser %	NfE %	TM- Gehalt %	CH <sub>4</sub> - Ertrag m <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup>	FM- Ertrag t ha <sup>-1</sup>	TM- Ertrag t ha <sup>-1</sup>	CH <sub>4</sub> - Ausbeute L (kg oTM) <sup>-1</sup>	N- Entzug kg ha <sup>-1</sup>	
'Minimal'	ogL	Mais Gavott	4,95	2,46	11,4	21,4	59,9	24,4	2.534	36,8	9,0	297	163	
		Mais Mikado	3,78	2,24	8,0	21,3	64,7	31,2	5.301	59,1	18,5	298	234	
		Mais Doge	4,05	2,61	8,2	20,2	64,9	32,5	6.002	64,2	20,9	300	274	
		Futterhirse	4,42	2,69	9,4	25,3	58,3	24,3	3.155	55,5	13,5	245	202	
		Sudangras	5,42	1,27	9,1	27,0	57,2	21,9	3.673	69,3	15,2	256	221	
		Sonnenblume	11,53	11,44	14,2	25,4	37,5	25,2	1.564	23,9	6,0	295	135	
		Mais/Sonnenbl.	5,75	3,19	11,0	20,7	59,4	27,0	2.159	29,0	7,8	293	137	
		Topinambur	10,22	1,37	11,5	23,1	53,8	24,2	2.851	48,4	11,7	272	214	
		Futterrübe	8,57	0,32	11,0	6,0	74,2	12,9	4.786	116,6	15,0	349	262	
	Mittel	6,64	3,10	10,3	21,1	58,8	24,8	3.663	57,8	13,4	289	209		
	P,K,Mg	Mais Gavott	4,72	2,65	10,5	21,7	60,4	24,0	2.505	37,5	8,8	298	148	
		Mais Mikado	3,81	2,19	8,0	22,0	64,0	31,4	5.190	57,7	18,1	298	232	
		Mais Doge	4,53	2,08	8,2	21,3	63,9	31,8	5.672	62,8	20,0	298	261	
		Futterhirse	4,63	3,56	9,7	25,3	56,9	24,6	3.477	60,0	14,8	246	228	
		Sudangras	5,65	1,35	9,1	27,3	56,6	21,8	3.292	62,3	13,6	257	199	
		Sonnenblume	13,92	9,82	14,5	25,0	36,8	26,4	1.132	17,1	4,5	292	104	
		Mais/Sonnenbl.	5,97	3,06	10,7	21,0	59,3	28,6	2.033	25,8	7,4	293	126	
		Topinambur	10,02	1,27	11,9	20,2	56,5	24,2	3.098	51,5	12,5	276	237	
		Futterrübe	7,17	0,42	10,6	5,7	76,1	13,5	5.429	125,1	16,8	348	285	
		Mittel	6,71	2,93	10,4	21,1	58,9	25,1	3.536	55,6	12,9	289	202	
		BGG +++	Mais Gavott	4,85	3,27	11,0	20,6	60,3	26,8	3.069	40,0	10,7	300	188
			Mais Mikado	4,30	2,37	9,3	21,0	63,1	29,8	4.928	58,0	17,3	298	256
			Mais Doge	4,54	1,98	8,9	20,8	63,9	31,5	6.011	67,3	21,2	298	300
			Futterhirse	4,67	2,16	9,4	26,8	57,0	24,1	3.508	62,7	15,1	244	228
			Sudangras	6,11	1,69	8,3	28,4	55,5	21,6	3.458	66,6	14,3	257	191
	Sonnenblume		12,38	11,43	15,3	25,2	35,7	26,4	1.423	20,9	5,5	295	135	
	Mais/Sonnenbl.		6,78	2,89	11,5	21,4	57,5	25,6	1.709	24,6	6,3	292	115	
	Topinambur		11,18	1,66	14,1	21,3	51,8	22,8	2.769	49,7	11,3	275	255	
	Futterrübe		9,63	0,44	13,0	6,3	70,6	12,4	4.914	126,6	15,7	345	323	
	Mittel		7,25	3,23	11,5	20,6	57,4	24,8	3.539	56,5	12,9	292	224	
	Mittel		6,86	3,08	10,7	21,0	58,4	24,9	3.578	56,6	131,0	290	212	

Tabelle A7.36. Einfluss von Wasser- und Düngungsregime auf Nährstoffgehalte (i.d. TM), TM-Gehalt, Methanausbeute, Erträge und N-Entzug im Jahr 2006 am Standort Forchheim.

Wasser- regime (W)	Düngungs- regime (D)	Fruchtart (F)	Roh- asche %	Roh- fett %	Roh- protein %	Roh- faser %	NfE %	TM- Gehalt %	CH <sub>4</sub> - Ertrag m <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup>	FM- Ertrag t ha <sup>-1</sup>	TM- Ertrag t ha <sup>-1</sup>	CH <sub>4</sub> - Ausbeute L (kg oTM) <sup>-1</sup>	N- Entzug kg ha <sup>-1</sup>	
'Optimal'	ogL	Mais Gavott	3,48	3,50	7,8	18,2	67,1	27,2	4.434	55,5	15,1	304	187	
		Mais Mikado	3,61	2,34	6,9	21,8	65,4	34,5	6.178	62,2	21,5	299	234	
		Mais Doge	3,79	1,78	6,0	24,2	64,3	35,3	6.329	63,1	22,2	296	213	
		Futterhirse	4,42	2,54	7,8	22,4	62,9	26,5	4.261	69,2	18,3	243	229	
		Sudangras	5,39	1,23	8,0	28,7	56,7	21,5	3.617	70,4	14,8	253	189	
		Sonnenblume	10,99	12,22	11,3	26,4	39,0	20,8	1.878	34,1	7,1	297	129	
		Mais/Sonnenbl.	5,61	3,75	9,9	22,0	58,8	25,4	2.835	40,2	10,2	294	161	
		Topinambur	9,11	1,24	8,5	25,9	55,3	25,2	3.766	61,7	15,5	267	211	
		Futterrübe	6,86	0,31	7,4	5,4	80,1	13,8	6.093	134,3	18,5	354	219	
			<b>Mittel</b>	<b>5,98</b>	<b>3,35</b>	<b>8,2</b>	<b>22,0</b>	<b>60,4</b>	<b>25,9</b>	<b>4.325</b>	<b>63,9</b>	<b>15,9</b>	<b>287</b>	<b>197</b>
	P,K,Mg	Mais Gavott	4,14	3,41	8,7	20,9	62,8	28,3	4.270	52,3	14,8	301	207	
		Mais Mikado	3,56	2,34	7,5	21,4	65,2	32,3	5.411	58,2	18,8	299	226	
		Mais Doge	4,25	1,62	6,9	24,6	62,7	35,1	6.843	69,1	24,3	295	267	
		Futterhirse	4,54	3,36	7,9	22,2	62,0	25,9	4.412	72,9	18,9	245	239	
		Sudangras	5,62	1,31	7,5	28,7	56,8	21,4	3.687	72,1	15,4	254	184	
		Sonnenblume	11,87	10,25	11,9	27,3	38,7	21,9	1.789	31,8	6,9	291	132	
		Mais/Sonnenbl.	5,99	2,72	9,6	22,2	59,5	25,9	2.822	39,8	10,3	291	159	
		Topinambur	8,29	0,98	8,5	24,6	57,7	25,7	4.004	63,1	16,2	269	220	
		Futterrübe	7,30	0,41	8,9	5,7	77,7	13,0	5.958	140,9	18,3	351	260	
				<b>Mittel</b>	<b>6,17</b>	<b>2,93</b>	<b>8,6</b>	<b>22,0</b>	<b>60,3</b>	<b>25,5</b>	<b>4.355</b>	<b>66,7</b>	<b>16,0</b>	<b>288</b>
	BGG +++	Mais Gavott	4,76	3,66	10,4	21,1	60,1	25,8	3.942	53,5	13,7	301	228	
		Mais Mikado	4,14	2,14	8,5	22,5	62,7	31,2	5.865	66,2	20,6	297	281	
		Mais Doge	4,22	2,15	7,9	23,1	62,6	31,5	6.076	68,0	21,4	297	270	
		Futterhirse	4,86	3,26	9,6	26,0	56,3	24,5	4.308	75,1	18,4	246	282	
		Sudangras	5,93	1,44	8,2	29,8	54,7	21,0	3.918	77,4	16,2	257	212	
		Sonnenblume	12,00	9,56	13,1	26,4	38,9	21,8	1.731	31,0	6,7	291	143	
		Mais/Sonnenbl.	5,71	3,29	10,9	21,0	59,1	26,2	2.457	34,0	8,9	293	154	
		Topinambur	10,23	1,06	11,8	25,0	51,9	23,2	3.182	56,8	13,2	269	248	
		Futterrübe	8,18	0,41	11,5	6,2	73,7	12,5	6.112	153,4	19,2	347	353	
			<b>Mittel</b>	<b>6,67</b>	<b>3,00</b>	<b>10,2</b>	<b>22,3</b>	<b>57,8</b>	<b>24,2</b>	<b>4.177</b>	<b>6,8</b>	<b>1,5</b>	<b>289</b>	<b>241</b>
	<b>Mittel</b>		<b>6,28</b>	<b>3,09</b>	<b>9,0</b>	<b>22,1</b>	<b>59,5</b>	<b>25,2</b>	<b>4.285</b>	<b>6,6</b>	<b>1,6</b>	<b>288</b>	<b>217</b>	

Tabelle A7.36. Einfluss von Wasser- und Düngungsregime auf Nährstoffgehalte (i.d. TM), TM-Gehalt, Methanausbeute, Erträge und N-Entzug im Jahr 2006 am Standort Forchheim.

Wasser- regime (W)	Düngungs- regime (D)	Fruchtart (F)	Roh- asche %	Roh- fett %	Roh- protein %	Roh- faser %	NfE %	TM- Gehalt %	CH <sub>4</sub> - Ertrag m <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup>	FM- Ertrag t ha <sup>-1</sup>	TM- Ertrag t ha <sup>-1</sup>	CH <sub>4</sub> - Ausbeute L (kg oTM) <sup>-</sup>	N- Entzug kg ha <sup>-1</sup>
GD ( $P < 0,05$ ) <sup>†</sup>			0,2	-	0,3	0,6	0,6	-	175	3,0	0,6	-	4
GD ( $P < 0,05$ ) <sup>‡</sup>			-	-	0,5	0,8	1,0	0,7	214	3,8	0,7	1	11
<u>Signifikanz der F-Werte aus der Varianzanalyse</u>													
W			**	NS	**	**	**	NS	**	**	**	NS	*
D			**	NS	**	NS	**	**	NS	NS	NS	NS	**
D x W			NS	NS	**	NS	*	*	NS	NS	NS	NS	**
F			**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**
F x W			**	NS	**	**	**	**	**	**	**	**	**
F x D			**	*	**	**	**	**	**	**	**	**	**
F x D x W			**	NS	NS	NS	*	**	**	NS	**	NS	*

<sup>†</sup> Grenzdifferenz für Mittelwertvergleiche zwischen Wasserregimen innerhalb eines Merkmals.

<sup>‡</sup> Grenzdifferenz für Mittelwertvergleiche von Wasserregime x Fruchtart-Kombinationen innerhalb eines Merkmals.

\*, \*\* Signifikant für  $P < 0,05$  und  $P < 0,01$ ; NS = nicht signifikant für  $P < 0,05$ .

NfE = Stickstofffreie Extraktstoffe.

Tabelle A7.37. Einfluss von Wasser- und Düngungsregime auf Nährstoffgehalte (i.d. TM), TM-Gehalt, Methanausbeute, Erträge und N-Entzug im Jahr 2007 am Standort Forchheim.

Wasser- regime (W)	Düngungs- regime (D)	Fruchtart (F)	Roh- asche %	Roh- fett %	Roh- protein %	Roh- faser %	NfE %	TM- Gehalt %	CH <sub>4</sub> - Ertrag m <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup>	FM- Ertrag t ha <sup>-1</sup>	TM- Ertrag t ha <sup>-1</sup>	CH <sub>4</sub> - Ausbeute L (kg oTM) <sup>-1</sup>	N- Entzug kg ha <sup>-1</sup>	
'Minimal'	ogL	Mais Gavott	3,90	2,30	11,7	18,8	63,3	29,1	3.852	46,2	13,4	299	251	
		Mais Mikado	3,91	1,59	8,2	21,1	65,1	33,0	5.558	59,2	19,5	297	257	
		Mais Doge	3,89	0,87	6,6	22,1	66,6	29,7	5.673	67,4	20,0	295	212	
		Futterhirse	4,73	1,32	8,7	25,1	60,2	27,1	4.054	64,9	17,6	242	246	
		Sudangras	4,40	2,25	8,7	22,5	62,1	29,8	3.842	55,4	16,5	243	231	
		Sonnenblume	11,52	6,64	11,6	31,7	38,6	42,3	2.166	20,7	8,8	279	163	
		Mais/Sonnenbl.	6,14	3,90	9,9	23,8	56,2	31,8	3.230	37,1	11,8	292	187	
		Topinambur	8,47	0,81	7,1	16,5	67,1	25,8	3.720	53,5	13,8	294	157	
		Futterrübe	7,72	0,47	7,4	6,6	77,9	19,2	6.912	110,5	21,3	352	249	
		<b>Mittel</b>			<b>6,07</b>	<b>2,24</b>	<b>8,9</b>	<b>20,9</b>	<b>61,9</b>	<b>29,8</b>	<b>4.334</b>	<b>57,2</b>	<b>15,9</b>	<b>288</b>
	P,K,Mg	Mais Gavott	3,87	1,42	10,9	20,4	63,4	29,9	4.223	49,7	14,9	296	258	
		Mais Mikado	3,76	1,62	8,5	20,9	65,2	33,4	5.833	61,3	20,4	297	278	
		Mais Doge	4,32	0,96	7,2	22,2	65,4	30,1	5.882	69,3	20,9	294	240	
		Futterhirse	4,94	1,56	8,2	24,6	60,7	28,3	4.535	69,8	19,7	242	261	
		Sudangras	4,50	2,33	8,5	19,2	65,5	29,8	3.752	54,3	16,2	242	219	
		Sonnenblume	13,22	4,90	9,7	33,0	39,2	36,5	1.573	18,1	6,6	274	102	
		Mais/Sonnenbl.	7,16	3,11	10,7	24,8	54,1	30,3	3.298		12,3	289	211	
		Topinambur	8,04	1,02	6,7	18,0	66,2	25,4	3.966	58,3	14,8	291	159	
		Futterrübe	12,45	0,75	8,3	6,2	72,4	18,7	7.024	122,7	22,9	350	305	
		<b>Mittel</b>			<b>6,92</b>	<b>1,96</b>	<b>8,7</b>	<b>21,0</b>	<b>61,4</b>	<b>29,2</b>	<b>4.454</b>	<b>60,5</b>	<b>16,5</b>	<b>286</b>
	BGG +++	Mais Gavott	4,32	1,60	10,7	18,1	65,3	29,9	4.345	51,1	15,6	298	262	
		Mais Mikado	4,32	1,53	8,3	22,8	63,1	33,8	6.082	63,7	21,5	295	284	
		Mais Doge	4,58	0,85	6,7	24,6	63,2	29,6	5.991	72,6	21,5	292	231	
		Futterhirse	5,45	1,67	9,5	24,4	58,9	26,7	4.157	67,9	18,1	242	277	
		Sudangras	5,08	2,47	8,9	24,1	59,4	29,0	3.780	56,4	16,3	244	234	
		Sonnenblume	13,42	5,80	9,3	33,5	38,0	33,6	1.815	22,6	7,6	276	114	
		Mais/Sonnenbl.	6,72	5,46	12,0	21,0	54,9	33,8	4.014	42,8	14,4	298	278	
		Topinambur	9,09	1,01	7,9	18,0	64,0	25,5	4.633	69,1	17,6	289	224	
		Futterrübe	11,80	0,76	7,8	5,8	73,8	18,5	6.678	116,3	21,6	351	268	
		<b>Mittel</b>			<b>7,20</b>	<b>2,35</b>	<b>9,0</b>	<b>21,4</b>	<b>60,1</b>	<b>28,9</b>	<b>4.611</b>	<b>62,5</b>	<b>17,1</b>	<b>287</b>
	<b>Mittel</b>			<b>6,73</b>	<b>2,18</b>	<b>8,9</b>	<b>21,1</b>	<b>61,1</b>	<b>29,3</b>	<b>4.466</b>	<b>60,1</b>	<b>16,5</b>	<b>287</b>	<b>228</b>

Tabelle A7.37. Einfluss von Wasser- und Düngungsregime auf Nährstoffgehalte (i.d. TM), TM-Gehalt, Methanausbeute, Erträge und N-Entzug im Jahr 2007 am Standort Forchheim.

Wasser- regime (W)	Düngungs- regime (D)	Fruchtart (F)	Roh- asche %	Roh- fett %	Roh- protein %	Roh- faser %	NfE %	TM- Gehalt %	CH <sub>4</sub> - Ertrag m <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup>	FM- Ertrag t ha <sup>-1</sup>	TM- Ertrag t ha <sup>-1</sup>	CH <sub>4</sub> - Ausbeute L (kg oTM) <sup>-1</sup>	N- Entzug kg ha <sup>-1</sup>	
'Optimal'	ogL	Mais Gavott	3,50	2,33	10,0	18,2	65,9	26,5	4.826	63,0	16,7	300	267	
		Mais Mikado	3,32	1,68	8,5	19,1	67,4	35,2	7.259	71,5	25,2	298	341	
		Mais Doge	3,43	1,41	6,2	22,4	66,5	34,8	7.508	75,6	26,3	296	262	
		Futterhirse	5,34	1,28	8,8	22,7	61,9	25,9	4.719	79,7	20,7	241	290	
		Sudangras	4,15	2,21	8,3	23,7	61,7	28,3	4.343	65,9	18,6	243	248	
		Sonnenblume	11,17	10,33	12,2	26,4	39,9	33,6	4.208	48,3	16,2	293	316	
		Mais/Sonnenbl.	6,37	6,22	10,2	23,8	53,4	37,2	5.892	56,9	21,1	298	347	
		Topinambur	7,77	0,87	6,4	20,6	64,4	26,3	4.788	68,7	18,1	287	185	
		Futterrübe	9,79	0,65	8,1	6,9	74,6	17,8	7.610	135,6	24,1	350	312	
		<b>Mittel</b>			<b>6,08</b>	<b>2,91</b>	<b>8,7</b>	<b>20,3</b>	<b>62,0</b>	<b>29,3</b>	<b>5.678</b>	<b>74,4</b>	<b>20,8</b>	<b>289</b>
	P,K,Mg	Mais Gavott	3,51	1,57	9,9	19,5	65,5	25,2	5.057	69,9	17,6	297	280	
		Mais Mikado	3,40	1,65	8,4	19,4	67,2	32,3	7.643	82,7	26,6	298	355	
		Mais Doge	3,56	1,55	6,3	23,5	65,1	32,9	7.299	77,9	25,6	296	259	
		Futterhirse	5,40	2,19	9,0	24,1	59,3	25,7	4.583	77,4	19,9	243	287	
		Sudangras	4,33	2,06	8,4	25,1	60,1	27,0	4.541	72,2	19,5	243	262	
		Sonnenblume	12,23	11,51	11,8	27,3	37,2	22,1	3.003	52,8	11,6	294	220	
		Mais/Sonnenbl.	6,53	5,43	10,5	21,2	56,4	30,2	5.047	60,0	18,1	298	303	
		Topinambur	7,89	0,68	6,2	23,2	62,0	27,6	5.005	69,7	19,6	282	190	
		Futterrübe	13,48	0,67	7,4	6,4	72,1	18,0	7.860	144,6	25,9	351	305	
		<b>Mittel</b>			<b>6,70</b>	<b>3,03</b>	<b>8,7</b>	<b>21,1</b>	<b>60,5</b>	<b>26,8</b>	<b>5.560</b>	<b>78,6</b>	<b>20,5</b>	<b>289</b>
BGG +++	Mais Gavott	3,79	1,73	9,4	19,0	66,1	26,3	5.500	73,1	19,2	298	290		
	Mais Mikado	3,56	1,54	8,0	22,6	64,3	34,6	7.522	76,4	26,4	295	337		
	Mais Doge	3,99	1,10	6,0	25,1	63,8	32,6	7.799	85,2	27,7	293	266		
	Futterhirse	6,26	1,77	10,7	28,6	52,6	24,7	4.523	80,1	19,9	244	339		
	Sudangras	5,06	2,52	8,0	23,4	61,0	27,0	4.419	70,7	19,1	244	245		
	Sonnenblume	13,07	8,68	9,7	29,8	38,8	24,9	2.448	39,7	9,9	286	152		
	Mais/Sonnenbl.	7,10	4,84	10,4	25,3	52,3	32,4	4.771	54,4	17,6	293	294		
	Topinambur	8,39	0,94	6,7	21,7	62,3	26,8	5.415	77,7	20,8	284	224		
	Futterrübe	12,00	0,66	7,5	5,9	74,0	18,0	7.932	143,0	25,7	351	308		
	<b>Mittel</b>			<b>7,02</b>	<b>2,64</b>	<b>8,5</b>	<b>22,4</b>	<b>59,5</b>	<b>27,5</b>	<b>5.592</b>	<b>77,8</b>	<b>20,7</b>	<b>288</b>	<b>273</b>
<b>Mittel</b>			<b>6,61</b>	<b>2,86</b>	<b>8,6</b>	<b>21,3</b>	<b>60,6</b>	<b>27,8</b>	<b>5.609</b>	<b>76,9</b>	<b>20,6</b>	<b>289</b>	<b>277</b>	



Tabelle A7.37. Einfluss von Wasser- und Düngungsregime auf Nährstoffgehalte (i.d. TM), TM-Gehalt, Methanausbeute, Erträge und N-Entzug im Jahr 2007 am Standort Forchheim.

Wasser- regime (W)	Düngungs- regime (D)	Fruchtart (F)	Roh- asche %	Roh- fett %	Roh- protein %	Roh- faser %	NfE %	TM- Gehalt %	CH <sub>4</sub> - Ertrag m <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup>	FM- Ertrag t ha <sup>-1</sup>	TM- Ertrag t ha <sup>-1</sup>	CH <sub>4</sub> - Ausbeute L (kg oTM) <sup>-1</sup>	N- Entzug kg ha <sup>-1</sup>
GD ( $P < 0,05$ ) <sup>†</sup>			-	0,2	0,1	-	-	0,7	117	3,2	0,6	1	9
GD ( $P < 0,05$ ) <sup>‡</sup>			0,3	0,5	0,4	1,5	-	1,2	27	3,8	1,0	2	17
<u>Signifikanz der F-Werte aus der Varianzanalyse</u>													
W			NS	**	*	NS	NS	**	**	**	**	**	**
D			**	NS	NS	*	**	**	NS	**	NS	**	NS
D x W			NS	*	NS	NS	NS	**	*	NS	*	*	**
F			**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**
F x W			**	**	**	*	NS	**	**	**	**	**	**
F x D			**	NS	**	NS	NS	**	**	**	**	*	**
F x D x W			NS	NS	NS	NS	NS	NS	*	NS	NS	**	**

<sup>†</sup> Grenzdifferenz für Mittelwertvergleiche zwischen Wasserregimen innerhalb eines Merkmals.

<sup>‡</sup> Grenzdifferenz für Mittelwertvergleiche von Wasserregime x Fruchtart-Kombinationen innerhalb eines Merkmals.

\*, \*\* Signifikant für  $P < 0,05$  und  $P < 0,01$ ; NS = nicht signifikant für  $P < 0,05$ .

NfE = Stickstofffreie Extraktstoffe.