



Berichte aus dem TFZ

Miscanthus als Nachwachsender Rohstoff

Ergebnisse aus bayerischen
Forschungsarbeiten

Projektpartner

Bayerische Landesanstalt für
Weinbau und Gartenbau
Abteilung Landespflege



**Miscanthus als Nachwachsender Rohstoff
– Ergebnisse aus bayerischen Forschungsarbeiten –**



Miscanthus als Nachwachsender Rohstoff

– Ergebnisse aus bayerischen Forschungsarbeiten –

Dr. Maendy Fritz (TFZ)
Beate Formowitz (TFZ)

Projektpartner

Bayerische Landesanstalt für
Weinbau und Gartenbau
Abteilung Landespflege



Steffen Jodl (LWG)
Angelika Eppel-Hotz (LWG)
Werner Kuhn (LWG)

Berichte aus dem TFZ 18

Straubing, Oktober 2009

Titel: Miscanthus als Nachwachsender Rohstoff
- Ergebnisse aus bayerischen Forschungsarbeiten -

Projektleiter: Dr. Bernhard Widmann
Dr. Maendy Fritz
Jürgen Eppel
Angelika Eppel-Hotz

Bearbeiter und Autoren TFZ: Dr. Maendy Fritz
Beate Formowitz
Benno Sötz
Dr. Helmar Prestele

Bearbeiter und Autoren LWG: Angelika Eppel-Hotz
Steffen Jodl
Werner Kuhn

Die diesem Bericht zugrundeliegenden Vorhaben wurden teilweise mit Mitteln des Bayerischen Staatsministeriums für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten, der Europäischen Union und der Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V. (FNR e.V.) gefördert. Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt bei den Autoren.

© 2009

Technologie- und Förderzentrum
im Kompetenzzentrum für Nachwachsende Rohstoffe (TFZ), Straubing

Alle Rechte vorbehalten.

Kein Teil dieses Werkes darf ohne schriftliche Einwilligung des Herausgebers in irgendeiner Form reproduziert oder unter Verwendung elektronischer Systeme verarbeitet, vervielfältigt, verbreitet oder archiviert werden.

ISSN: 1614-1008

Hrsg.: Technologie- und Förderzentrum
im Kompetenzzentrum für Nachwachsende Rohstoffe (TFZ)
Schulgasse 18, 94315 Straubing

E-Mail: poststelle@tfz.bayern.de

Internet: www.tfz.bayern.de

und Bayerische Landesanstalt für Weinbau und Gartenbau (LWG),
Abteilung Landespflege
An der Steige 15, 97209 Veitshöchheim

E-Mail: poststelle@lwg.bayern.de

Internet: www.lwg.bayern.de

Redaktion: Dr. Maendy Fritz, Beate Formowitz, Steffen Jodl, Angelika Eppel-Hotz

Verlag: —

Erscheinungsort: Straubing

Erscheinungsjahr: 2009

Gestaltung: Graphiken: Rita Haas, Beate Formowitz, TFZ

Fotonachweis: Sötz (56; 63; 64; 94; 95; 96; 143; 144), Eppel-Hotz (33; 37; 44; 46; 138),
Kuhn (120; 150)

Vorwort

Miscanthus ist eine in Europa nicht heimische Kultur, die seit den 1980er Jahren auch als Nachwachsender Rohstoff angebaut wird. Von der früheren Bayerischen Landesanstalt für Bodenkultur und Pflanzenbau (LBP), Freising, und der Bayerischen Landesanstalt für Weinbau und Gartenbau (LWG), Veitshöchheim, wurden ab 1988 an insgesamt 12 verschiedenen Standorten Bayerns Miscanthusbestände etabliert, um an ihnen grundsätzliche Fragen zu Sortenwahl und Düngebedarf zu erforschen. Über die Standorte hinweg konnte eine Sortenprüfung mit Herausarbeitung der günstigsten Standort- und Klimabedingungen durchgeführt werden.

Viele dieser Bestände wurden im Laufe der Jahre aufgegeben und umgebrochen, einige jedoch sind noch erhalten und werden weiterhin für Langzeiterhebungen genutzt. Da je Versuchsstandort und –ansteller unterschiedliche Fragestellungen im Fokus standen, unterscheiden sich diese drei verbliebenen Parzellenversuche hinsichtlich der angebauten Miscanthussorten, der Bemessung und Variation der Stickstoff-Düngung sowie in der Kombination beider Faktoren.

Seit seiner Gründung im Jahr 2002 ist das Technologie- und Förderzentrum im Kompetenzzentrum für Nachwachsende Rohstoffe (TFZ), Straubing, zuständig für spezielle Energiepflanzenkulturen. Daher hat das TFZ die bestehenden Miscanthusversuche federführend übernommen und einige Versuche und Modellvorhaben zu Miscanthus durchgeführt, die in diesen Bericht einfließen. Die Bestandespflege der Flächen in Veitshöchheim erfolgt weiterhin durch die LWG, die dafür finanziell und personell durch das TFZ unterstützt wird.

Der vorliegende Bericht fasst die Ergebnisse und Erkenntnisse der nun 20-jährigen Miscanthusforschung von LBP, LWG und TFZ zusammen.

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis		7
Abbildungsverzeichnis		11
Tabellenverzeichnis		17
1 Einleitung.....		19
2 Miscanthus – Pflanze, Verfahren, Verwertung		21
2.1 Beschreibung von Miscanthus		21
2.2 Standortansprüche		22
2.3 Vermehrung.....		22
2.3.1 Mikrovegetative Vermehrung		23
2.3.2 Makrovegetative Vermehrung		23
2.3.2.1 Mechanische Zerkleinerung im Boden		24
2.3.2.2 Mechanische Zerkleinerung außerhalb des Bodens		24
2.3.3 Vor- und Nachteile der Vermehrungsverfahren		25
2.4 Neuanlage und Bestandesdichte von Miscanthusbeständen		26
2.5 Pflanzenschutz		28
2.6 Düngung		29
2.7 Beerntung.....		30
2.7.1 Erntezeitpunkt		30
2.7.2 Bergung als Häckselgut.....		31
2.7.3 Bergung mit feldseitiger Verdichtung.....		32
2.7.4 Trocknung und Lagerung		32
2.8 Verarbeitung von Miscanthusstroh		32
2.9 Verwertungsmöglichkeiten von Miscanthus.....		33
2.9.1 Stoffliche Verwertung		34
2.9.2 Energetische Verwertung		37
2.10 Ertragsleistung und -stabilität		39
2.11 Physikalische und chemische Eigenschaften		40
2.12 Finanzielle Bewertung in Form einer Deckungsbeitragsabschätzung		41
3 Standorteigenschaften und Produktivität (LWG)		43
3.1 Zielsetzung		43
3.2 Material und Methoden		43
3.3 Ergebnisse und Diskussion		45
3.3.1 Sortenvergleiche in Abhängigkeit des Standorts		45
3.3.2 Düngeeffekte bei Miscanthus x giganteus		49
3.4 Schlussfolgerungen und Empfehlungen für die Praxis.....		51

4	Langzeiterhebungen an bestehenden Miscanthusbeständen (TFZ).....	53
4.1	Zielsetzung	53
4.2	Material und Methoden	53
4.2.1	Standortbeschreibung und Versuchsaufbau	53
4.2.2	Datenerhebungen und Analysen	57
4.2.3	Allgemeine Erläuterungen zur Skalierung der Zeitachsen in Abbildungen und Tabellen dieser Langzeitstudie.....	57
4.3	Ergebnisse und Diskussion	58
4.3.1	Wetter- und Bodendaten der drei Versuchsstandorte.....	58
4.3.2	Wachstum und Erträge in Abhängigkeit vom Standort	61
4.3.3	Wachstum und Erträge in Abhängigkeit der Sorte	64
4.3.4	Wachstum und Ertrag in Abhängigkeit unterschiedlicher N-Düngestufen.....	69
4.3.5	Inhaltstoffe des Ernteguts.....	77
4.4	Schlussfolgerungen und Empfehlungen für die Praxis.....	79
4.5	Zusammenfassung der Ergebnisse aus den Langzeiterhebungen	80
5	Austriebsverhalten von Rhizomabschnitten aus Miscanthus x giganteus in Abhängigkeit von Alter und Lage im Mutterrhizom (TFZ)	83
5.1	Zielsetzung	83
5.2	Material und Methoden	83
5.2.1	Versuchsaufbau und Zielgrößen	83
5.2.2	Erzeugung der Rhizomabschnitte	86
5.2.3	Versuchsstandort	87
5.2.4	Versuchsmaterialien	87
5.2.4.1	Pflanzgefäß.....	87
5.2.4.2	Nährmedium und Gießverfahren	87
5.2.4.3	Nährlösung	88
5.2.5	Durchzuführende Arbeiten und Untersuchungen.....	88
5.2.5.1	Auswahl der Mutterrhizome	88
5.2.5.2	Merkmalerfassung und Arbeiten nach Entnahme der Mutterrhizome	88
5.2.5.3	Bearbeitung der Mutterrhizome	89
5.2.5.4	Erzeugung von Rhizomabschnitten als Pflanzgut.....	89
5.2.5.5	Pflanzung und Pflege der Rhizomabschnitte	90
5.2.5.6	Vorgehensweise an den 6 Messterminen	90
5.2.5.7	Messungen und Bonituren nach der Pflanzung	90
5.3	Ergebnisse und Diskussion	91
5.3.1	Beschreibung der Mutterpflanzen	91
5.3.1.1	2-jährige Mutterrhizome	95
5.3.1.2	4-jährige Mutterrhizome	95
5.3.1.3	7-jährige Mutterrhizome	95
5.3.2	Beschreibung der Rhizomabschnitte.....	96
5.3.3	Austriebsverhalten der Rhizomabschnitte.....	97
5.3.3.1	Anzahl gekeimter Augen an den Rhizomabschnitten	97
5.3.3.2	Anzahl nicht gekeimter Augen an den Rhizomabschnitten	100
5.3.3.3	Wurzelbildung an den Rhizomabschnitten	102
5.3.3.4	Sprossbildung an den Rhizomabschnitten	104
5.3.3.5	Sprosslänge	106

5.3.3.6	Rhizomabschnitte mit oberirdischen Sprossen – Abschätzung des Feldaufgangs.....	108
5.4	Schlussfolgerungen und Empfehlungen für die Praxis.....	113
5.5	Zusammenfassung der Untersuchungen zum Austriebsverhalten.....	114
6	Selektion neuer Miscanthus-Typen (LWG)	117
6.1	Zielsetzung	117
6.2	Material und Methoden	117
6.2.1	Selektion neuer Miscanthus-Typen	117
6.2.2	Ursachenforschung bezüglich Winterausfälle und Verbesserung der Überwinterungsraten	119
6.3	Ergebnisse und Diskussion	120
6.3.1	Selektion neuer Miscanthus-Typen	120
6.3.2	Ursachenforschung bezüglich Winterausfälle und Verbesserung der Überwinterungsraten	122
6.3.2.1	Überwinterungsfähigkeit von Miscanthus x giganteus Jungbeständen.....	122
6.3.2.2	Klimaeinflüsse.....	124
6.3.2.3	Abschlusszeitpunkt	126
6.3.2.4	Reservestoffeinlagerung.....	127
6.4	Zusammenfassung	131
7	Miscanthusanbau durch Vermehrung über Saatgut (LWG)	133
7.1	Zielsetzung	133
7.2	Material und Methoden	133
7.3	Ergebnisse und Diskussion	133
7.4	Zusammenfassung	138
8	Ertragseinfluss verschiedener Schnittzeitregime (TFZ)	139
8.1	Zielsetzung	139
8.2	Material und Methoden	139
8.2.1	Versuchsaufbau und Erhebungen.....	139
8.3	Ergebnisse und Diskussion	140
8.3.1	Einfluss des Schnittzeitpunkts auf die Triebbildung.....	140
8.3.2	Einfluss des Schnittzeitpunkts auf die Wuchshöhe.....	141
8.3.3	Einfluss des Schnittzeitpunkts auf den Ertrag.....	143
8.4	Schlussfolgerungen und Empfehlungen für die Praxis.....	146
8.5	Zusammenfassung über den Ertragseinfluss verschiedener Schnittzeitregime ...	146
9	Miscanthus als Lebensraum (LWG)	149
9.1	Zielsetzung	149
9.2	Material und Methoden	149
9.3	Ergebnisse und Diskussion	149
9.3.1	Schutzfunktion	149
9.3.2	Nischenreichtum	151

9.3.3	Biotoptyp.....	152
9.4	Zusammenfassung der faunistischen Untersuchung von Miscanthus- Beständen	152
	Zusammenfassung	153
	Quellenverzeichnis	159

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1:	Vermehrungsverfahren für <i>Miscanthus x giganteus</i>	23
Abbildung 2:	Ernte- und Weiterverarbeitungsverfahren für <i>Miscanthus</i>	31
Abbildung 3:	Aus <i>Miscanthus</i> -Material gewonnene Briketts und Pellets.....	33
Abbildung 4:	Verwertungsmöglichkeiten von <i>Miscanthus</i>	34
Abbildung 5:	<i>Miscanthus</i> eignet sich in Staudenpflanzungen als Mulchmaterial.....	37
Abbildung 6:	Parzellenbeerntung zur Erfassung der Ertragsergebnisse durch die frühere Bayerische Landesanstalt für Bodenkultur und Pflanzenbau	44
Abbildung 7:	Trockenmasseerträge von <i>Miscanthus x giganteus</i> an den Standorten Kläranlage und Volkenschlag in Güntersleben ohne zusätzliche N-Düngung	45
Abbildung 8:	<i>Miscanthus x giganteus</i> am ertragsschwachen Standort „Volkenschlag“	46
Abbildung 9:	<i>Miscanthus x giganteus</i> am ertragreichen Standort „Kläranlage“	46
Abbildung 10:	Trockenmasseerträge von <i>Miscanthus x giganteus</i> , <i>M. sinensis</i> ‘Goliath‘ und <i>M. sinensis</i> ‘Gracillimus‘ in Großostheim	48
Abbildung 11:	Trockenmasseerträge von <i>Miscanthus x giganteus</i> , <i>M. sinensis</i> ‘Goliath‘ und <i>M. sinensis</i> ‘Gracillimus‘ in Filke (Rhön).....	49
Abbildung 12:	Trockenmasseerträge von <i>Miscanthus x giganteus</i> in Abhängigkeit unterschiedlichen N-Düngestufen in Güntersleben (Volkenschlag)	50
Abbildung 13:	Trockenmasseerträge von <i>Miscanthus x giganteus</i> in Abhängigkeit unterschiedlichen N-Düngestufen in Großostheim	50
Abbildung 14:	Lage der drei bayerischen Versuchsstandorte Freising, Puch und Güntersleben.....	54
Abbildung 15:	Schematischer Versuchsaufbau der Langzeiterhebungen	55
Abbildung 16:	Versuchsflächen mit <i>Miscanthus x giganteus</i> sowie 2 <i>Miscanthus sinensis</i> -Sorten in Freising (oben) und Puch (Mitte), sowie <i>M. x giganteus</i> in Güntersleben (unten) mit unterschiedlichen N-Düngestufen	56
Abbildung 17:	Ganzjährige und halbjährige (Apr. - Sep.) Temperatur- und Niederschlagsmittelwerte der drei Versuchsstandorte	60
Abbildung 18:	Wuchshöhen von <i>Miscanthus x giganteus</i> an drei bayerischen Standorten, gedüngt mit 75 kg N ha ⁻¹ in Freising und Puch sowie 100 kg N ha ⁻¹ in Güntersleben.....	62
Abbildung 19:	Trockenmasseerträge von <i>Miscanthus x giganteus</i> an den Standorten Freising und Puch gedüngt mit 75 kg N ha ⁻¹ sowie 100 kg N ha ⁻¹ in Güntersleben.....	62
Abbildung 20:	Lager von <i>Miscanthus x giganteus</i> in Puch (links) und Güntersleben (rechts).....	63

Abbildung 21:	Miscanthus x giganteus, M. sinensis 'Goliath' und M. sinensis 'Gracillimus' (von hinten nach vorn) in Freising (links, Juni 2006) und Puch (rechts, Juli 2008).....	64
Abbildung 22:	Miscanthus sinensis 'Goliath', M. x giganteus und M. sinensis 'Gracillimus' (von links nach rechts) in Freising am 24.10.2005.....	64
Abbildung 23:	Wuchshöhen von Miscanthus x giganteus, M. sinensis 'Goliath' und M. sinensis 'Gracillimus' in Freising und Puch, gedüngt mit 75 kg N ha ⁻¹ sowie M. x giganteus in Güntersleben, gedüngt mit 100 kg N ha ⁻¹	65
Abbildung 24:	Trockenmasseerträge von Miscanthus x giganteus, M. sinensis 'Goliath' und M. sinensis 'Gracillimus', gedüngt mit 75 kg N ha ⁻¹ in Freising und Puch.....	66
Abbildung 25:	Trockenmasseerträge (1994 - 2008) von Miscanthus x giganteus, M. sinensis 'Goliath' und M. sinensis 'Gracillimus' in Freising und Puch. Boxen werden durch 25- und 75-Perzentile und Whisker durch 5- und 95-Perzentile bestimmt.....	67
Abbildung 26:	Blatt-Stängel-Verhältnis von Miscanthus x giganteus, M. sinensis 'Goliath' und M. sinensis 'Gracillimus' im Herbst und darauffolgendem Frühjahr an den Standorten Freising und Puch.....	68
Abbildung 27:	Wuchshöhe von Miscanthus x giganteus in Abhängigkeit verschiedener N-Düngestufen [kg ha ⁻¹] am Standort Freising.....	69
Abbildung 28:	Wuchshöhe von Miscanthus x giganteus in Abhängigkeit verschiedener N-Düngestufen [kg ha ⁻¹] am Standort Freising.....	70
Abbildung 29:	Wuchshöhe von Miscanthus x giganteus in Abhängigkeit verschiedener N-Düngestufen [kg ha ⁻¹] am Standort Güntersleben.....	70
Abbildung 30:	Trockenmasseerträge von Miscanthus x giganteus in Abhängigkeit von verschiedenen N-Düngestufen [kg ha ⁻¹] in Freising.....	71
Abbildung 31:	Trockenmasseerträge von Miscanthus x giganteus in Abhängigkeit von verschiedenen N-Düngestufen [kg ha ⁻¹] in Güntersleben.....	72
Abbildung 32:	Trockenmasseerträge von Miscanthus x giganteus über den gesamten Versuchszeitraum in Abhängigkeit unterschiedlicher N-Düngestufen [kg ha ⁻¹] in Freising und Güntersleben.....	72
Abbildung 33:	N _{min} -Gehalte in drei verschiedenen Bodentiefen eines Miscanthus x giganteus-Bestandes bei drei unterschiedlichen N-Düngestufen [kg ha ⁻¹] in Freising.....	73
Abbildung 34:	N _{min} -Gehalte in drei verschiedenen Bodentiefen eines Miscanthus x giganteus-Bestandes bei fünf unterschiedlichen N-Düngestufen [kg ha ⁻¹] in Güntersleben.....	74
Abbildung 35:	Blatt-Stängel-Verhältnis von Miscanthus x giganteus im Herbst und darauffolgendem Frühjahr in Abhängigkeit verschiedener N-Düngestufen [kg ha ⁻¹] in Freising und Puch.....	76
Abbildung 36:	Versuchsaufbau mit den zwei Faktoren Alter des Mutterrhizoms und Lage im Mutterrhizom sowie Wiederholungen.....	84

Abbildung 37:	Wuchshöhen und Stängeldurchmesser der 2-, 4- und 7-jährigen Mutterpflanzen	92
Abbildung 38:	Blatt-Stängel-Verhältnisse der Mutterpflanzen	93
Abbildung 39:	Seitenansicht eines 2-jährigen (links) und eines 7-jährigen Mutterrhizoms (rechts).....	94
Abbildung 40:	4-jähriges Rhizom: links ein komplettes, gewaschenes Rhizom mit 1-jährigen, grünen Halmen im Außenbereich; rechts ein verkahlter Innenbereich mit nur vereinzelt Halmen	95
Abbildung 41:	7-jähriges Rhizom: links ein komplettes, gewaschenes Rhizom mit 1-jährigen, grünen Halmen und großen Anteilen an mehrjährigem Rhizommaterial; rechts der Innenbereich mit starken Verbräunungen	96
Abbildung 42:	Rhizomabschnitte aus einem 2-jährigen Mutterrhizom: links 1-jährig außen, Mitte 2-jährig außen, rechts 2-jährig innen	96
Abbildung 43:	Anzahl kleiner und großer Augen sowie Durchmesserspannen der Rhizomabschnitte	97
Abbildung 44:	Anzahl gekeimter Augen an den Rhizomabschnitten aus 2-jährigen Mutterrhizomen über eine Versuchsdauer von 12 Wochen nach der Pflanzung	98
Abbildung 45:	Anzahl gekeimter Augen an den Rhizomabschnitten aus 4-jährigen Mutterrhizomen über eine Versuchsdauer von 12 Wochen nach der Pflanzung	99
Abbildung 46:	Anzahl gekeimter Augen an den Rhizomabschnitten aus 7-jährigen Mutterrhizomen über eine Versuchsdauer von 12 Wochen nach der Pflanzung	99
Abbildung 47:	Anzahl ungekeimter Augen an den Rhizomabschnitten aus 2-, 4- und 7-jährigen Mutterrhizomen über eine Versuchsdauer von 12 Wochen nach der Pflanzung	101
Abbildung 48:	Anteil Rhizomabschnitte mit Wurzelbildung aus 2-, 4- und 7-jährigen Mutterrhizomen über eine Versuchsdauer von 12 Wochen nach der Pflanzung	103
Abbildung 49:	Anteil ausgetriebener Rhizomabschnitte aus 2-jährigen Mutterrhizomen über eine Versuchsdauer von 12 Wochen nach der Pflanzung	104
Abbildung 50:	Anteil ausgetriebener Rhizomabschnitte aus 4-jährigen Mutterrhizomen über eine Versuchsdauer von 12 Wochen nach der Pflanzung	105
Abbildung 51:	Anteil ausgetriebener Rhizomabschnitte aus 7-jährigen Mutterrhizomen über eine Versuchsdauer von 12 Wochen nach der Pflanzung	106
Abbildung 52:	Längenentwicklung von Sprossen aus Rhizomabschnitte aus 2-, 4- und 7-jährigen Mutterrhizomen über eine Versuchsdauer von 12 Wochen nach der Pflanzung	107
Abbildung 53:	Anteil mit oberirdischen Sprossen ausgetriebener Rhizomabschnitte aus 2-, 4- und 7-jährigen Mutterrhizomen über eine Versuchsdauer von 91 bis 99 Tagen	108

Abbildung 54:	Anteil mit oberirdischen Sprossen ausgetriebener Rhizomabschnitte aus 2-, 4- und 7-jährigen Mutterrhizomen mit Unterscheidung der Ursprungslage über eine Versuchsdauer von 91 bis 99 Tagen.....	110
Abbildung 55:	Anteil mit oberirdischen Sprossen ausgetriebener Rhizomabschnitte aus 2-, 4- und 7-jährigen Mutterrhizomen mit Unterscheidung der Ursprungslage zum 3. Termin	111
Abbildung 56:	Anteil mit oberirdischen Sprossen ausgetriebener Rhizomabschnitte aus 2-, 4- und 7-jährigen Mutterrhizomen mit Unterscheidung der Ursprungslage zum 5. Termin	111
Abbildung 57:	Anteil mit oberirdischen Sprossen ausgetriebener Rhizomabschnitte aus 2-, 4- und 7-jährigen Mutterrhizomen mit Unterscheidung der Ursprungslage zum 10. Termin	112
Abbildung 58:	Miscanthus-Jungpflanzen und Rhizome	120
Abbildung 59:	Ausfallraten von <i>Miscanthus x giganteus</i> in Abhängigkeit von Frostperioden in 5 cm Bodentiefe (Temperaturmittel $\leq -0,5$ °C an mindestens zwei aufeinanderfolgenden Tagen) in Würzburg.....	125
Abbildung 60:	Verteilung des Stärkegehalts innerhalb verschiedener, unterirdischer Biomassebereiche eines 6-jährigen <i>Miscanthus x giganteus</i> -Rhizoms (Sept. 1996 bis März 1997)	128
Abbildung 61:	Verteilung des Kohlenhydratgehalts innerhalb verschiedener, unterirdischer Biomassebereiche eines 6-jährigen <i>Miscanthus x giganteus</i> -Rhizoms (Sept. 1996 bis März 1997).....	128
Abbildung 62:	Verteilung des Stickstoffgehalts innerhalb verschiedener, unterirdischer Biomassebereiche eines 6-jährigen <i>Miscanthus x giganteus</i> -Rhizoms (Sept. 1996 bis März 1997)	129
Abbildung 63:	Entwicklung der Stärkegehalte in ober- und unterirdischen Organen bei verschieden alten <i>Miscanthus x giganteus</i> -Pflanzen (August 1996 bis März 1997)	130
Abbildung 64:	Entwicklung der Stärkegehalte in ober- und unterirdischen Organen bei verschiedenen <i>Miscanthus x giganteus</i> und <i>M. sinensis</i> 'Goliath' von August 1996 bis März 1997; Herkünfte: S = Schweiz; LBP = frühere Bayerische Landesanstalt für Bodenkultur und Pflanzenbau.....	131
Abbildung 65:	<i>Miscanthus</i> -Selektion 2003, 3. Standjahr (Oktober 2007).....	138
Abbildung 66:	Erntezeitpunkte im Versuch: normaler Schnittzeitpunkt im Folgejahr des Aufwuchses und früherer Schnittzeitpunkt zur Gewinnung grüner Biomasse für die Nutzung als Biogassubstrat.....	140
Abbildung 67:	Anzahl Triebe je Rhizom unter folgenden Schnittregimen: Var. 1 = Sommerschnitt 2006 und reguläre Ernte 2008, Var. 2 = Sommerschnitte 2006 und 2007, Var. 3 = reguläre Ernte 2007 und 2008. Fehlerbalken stellen Standardfehler der Mittelwerte dar	141
Abbildung 68:	Durchschnittliche Wachstumshöhen unter folgenden Schnittregimen: Var. 1 = Sommerschnitt 2006 und reguläre Ernte 2008, Var. 2 = Sommerschnitte 2006 und 2007, Var. 3 = reguläre Ernte 2007 und 2008. Fehlerbalken stellen Standardfehler der Mittelwerte dar	142

Abbildung 69:	Die noch grünen Bestände der drei Schnittvarianten von <i>Miscanthus x giganteus</i> im Herbst (01.10.2007) in Amselfing, Bayern.....	143
Abbildung 70:	Versuchsflächen von <i>Miscanthus x giganteus</i> kurz vor der Ernte im Frühjahr (10.03.2008) mit den drei Schnittvarianten in Amselfing, Bayern.....	144
Abbildung 71:	Trockenmasseerträge unter folgenden Schnittregimen: Var. 1 = Sommerschnitt 2006 und reguläre Ernte 2008, Var. 2 = Sommerschnitte 2006 und 2007, Var. 3 = reguläre Ernte 2007 und 2008	144
Abbildung 72:	Vogelnest im <i>Miscanthus</i> bestand	150
Abbildung 73:	Artenzahlen in untersuchten <i>Miscanthus</i> -, Mais- und Schilfbeständen (Differentialarten = Arten, die nur in einer der Kulturen vorkommen) im Jahr 1995	151

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:	Physikalische Kenngrößen von Miscanthus und anderen Festbrennstoffen, Zusammenfassung verschiedener Quellen [28][37][105][122].....	40
Tabelle 2:	Elementgehalte von Miscanthus und anderen Materialien, eigene Untersuchungen (TFZ) [37] sowie Zusammenstellung verschiedener Quellen [11][28][102][122].....	41
Tabelle 3:	Deckungsbeiträge von Miscanthus (Berechnung LWG; Ertrag 15 t/ha, 18 Ernten), Kurzumtriebshölzer (Quelle: [83]; Ertrag 10 t/ha, 5 Ernten) und ausgewählten Feldfrüchten (Quelle: [3]; Winterweizen Ertrag 6,6 t/ha, Zuckerrüben Ertrag 68,9 t/ha)	42
Tabelle 4:	Standortverhältnisse der LWG-Versuchsflächen	44
Tabelle 5:	Ertragsspannen verschiedener Miscanthus-Typen an ertragreichen und -schwachen Versuchsstandorten	51
Tabelle 6:	Bodentypen, Ackerzahl, pH und Nährstoffgehalte der Miscanthus-Versuchsflächen in Freising, Puch und Güntersleben, erhoben 1995	55
Tabelle 7:	Bodengehalte an P, K und Mg sowie pH gemessen in langjährigen Miscanthus x giganteus-Beständen in Freising, Puch und Güntersleben.....	58
Tabelle 8:	Nährstoffgehalte des gehäckselten Ernteguts (Blätter und Stängel) von Miscanthus x giganteus in zwei Beispieljahren in Freising, Puch und Güntersleben.....	78
Tabelle 9:	Nährstoffgehalte gehäckselter Blätter von Miscanthus x giganteus in einem Beispieljahr in Freising und Puch	78
Tabelle 10:	Beschreibende Parameter zur Charakterisierung der Mutterpflanzen.....	85
Tabelle 11:	Beschreibende Parameter der Rhizomabschnitte, vor der Pflanzung ermittelt	85
Tabelle 12:	Zielgrößen, die an 6 Terminen mit definiert einheitlichem Abstand zum Pflanztermin an den ausgegrabenen Rhizomabschnitten ermittelt werden.....	86
Tabelle 13:	Zielgrößen, an 10 Terminen rein oberirdisch an den Rhizomabschnitten ermittelt	86
Tabelle 14:	Erhebungstermine der 6 Messungen	91
Tabelle 15:	Erhebungstermine der 10 Messungen für oberirdische Parameter.....	91
Tabelle 16:	Kenngrößen der Mutterpflanzen	94
Tabelle 17:	Winterausfallraten und Trockenmasseerträge verschiedener Miscanthus-Sorten bzw. -Varietäten an den Standorten Göbi und Meidl in Güntersleben ...	118
Tabelle 18:	Blütenentwicklung verschiedener, beispielhaft ausgesuchter Miscanthussorten an den Standorten „Göbi“ und „Meidl“ in Güntersleben (ausführliche Tabelle in [50]). Boniturschlüssel: 1 = ohne Blüten bzw. vereinzelt Blüten sichtbar, 2 = blühend, 3 = verblüht	121

Tabelle 19:	Durchschnittliche Winterausfallrate, Trockenmasseertrag, Trockensubstanzgehalt und Blühverhalten von verschiedenen, beispielhaft dargestellten <i>Miscanthus</i> -sorten in Güntersleben (Meidl). Boniturschlüssel Blühverhalten: 1 = ohne Blüten oder vereinzelt Blüten sichtbar, 2 = blühend, 3 = verblüht	122
Tabelle 20:	Überwinterungsraten von <i>Miscanthus x giganteus</i> unterschiedlicher Vermehrungsart im Maintal (Himmelstadt) und in Güntersleben (Unterpleichfeld) 1997	123
Tabelle 21:	Anwachsraten und Überwinterungsraten von <i>Miscanthus x giganteus</i> 1996 und 1997 an verschiedenen Standorten. Zusätzlich Überwinterungsraten von in vitro und rhizomvermehrten Jungpflanzen behandelt mit 1,5 l ha ⁻¹ Camposan verglichen mit einer Kontrolle.	124
Tabelle 22:	Wiederaustrieb von <i>Miscanthus x giganteus</i> - und <i>M. sinensis</i> 'Goliath'-Rhizomen bei unterschiedlichen Zeitpunkten der Topfung	126
Tabelle 23:	Anwachsrate, Überwinterungsrate, Trockenmasseertrag und Trockensubstanzgehalt der jeweils ausgepflanzten F1-Generation von 20 <i>Miscanthus</i> kreuzungen in „Bieg-Meidl“ (Güntersleben).....	134
Tabelle 24:	Anwachsrate und Trockenmasseerträge der F1-Generation von 6 ausgewählten <i>Miscanthus</i> kreuzungen in „Bieg-Meidl“	135
Tabelle 25:	Anwachsrate, Überwinterungsrate und Trockenmasseertrag der F1-Generation von 12 <i>Miscanthus</i> kreuzungen in „Bieg-Meidl“	136
Tabelle 26:	Anwachsrate, Überwinterungsrate und Trockenmasseertrag der jeweils aufgepflanzten F1-Generation von 6 <i>Miscanthus</i> kreuzungen, Standort „Bieg-Meidl“, Güntersleben.....	137
Tabelle 27:	Trockenmasseertrag und Trockensubstanzgehalt von 9 <i>Miscanthus</i> selektionen (Selektion 2003) in „Bieg-Meidl“	137
Tabelle 29:	Nachweis (●) von Kleinsäugetern und Vögeln in <i>Miscanthus</i> -, Mais- und Schilfflächen, 1995	150

1 Einleitung

Die Bedeutung Nachwachsender Rohstoffe, die stofflich oder energetisch genutzt werden und damit fossile Rohstoffe ersetzen, nimmt immer weiter zu. In diesem Zuge gewinnen auch Kulturen, die sonst in anderen Regionen oder auf anderen Nutzungspfaden verwertet wurden, stärker an Bedeutung und werden auf ihre generelle Eignung als Nachwachsender Rohstoff überprüft. Zu diesen Kulturen zählt auch Miscanthus, der im Jahr 1935 nach Europa eingeführt wurde. Stand vorrangig die Nutzung als Ziergras im Vordergrund, nahm in den 1980er Jahren langsam auch die Kultivierung als Windschutzpflanze, als Holzersatz für die Zellstoff- und Papierindustrie und als Energieträger zu.

Als Nachwachsender Rohstoff eignet sich vor allem der Klon Miscanthus x giganteus, für den sich in der energetischen und stofflichen Verwertung grundsätzlich vielseitige Verwendungsmöglichkeiten anbieten. Hinderungsgründe für eine rasche Anbauausweitung sind unter anderem die hohen Kosten der Bestandesetablierung, die langfristige Festlegung auf eine Dauerkultur in Zeiten stark schwankender Preise für Agrarrohstoffe sowie Risiken bei der Bestandesführung, dem Absatz bzw. der Verwertung des Aufwuchses und der Beseitigung alter Bestände.

Da viele der ab 1980 angelegten Bestände bereits nach relativ kurzer Zeit wieder umgebrochen wurden, ist bisher noch nicht gesichert, wie lang die optimale Nutzungsdauer von Miscanthusbeständen ist und welche Standort- und Nährstoffansprüche sich aus einer Langzeitnutzung ergeben. Bei einer langjährigen Bestandesführung, in denen sich nach dem dritten Anbaujahr die Pflegearbeiten auf einmalige Ernte und Düngung im Jahr beschränken, können sich zudem positive ökologische Aspekte ergeben.

Eine lange Nutzungsdauer setzt aber auch hohe Anforderungen an die Bestandesetablierung, beispielsweise sind die Qualitätsanforderungen an Miscanthuspflanzgut noch nicht umfassend geklärt. Miscanthus x giganteus ist triploid und damit steril, so dass keine Vermehrung über Samen möglich ist. In der Praxis haben sich unterschiedliche Vermehrungsmethoden, z. B. mittels Meristempflanzen und Rhizomabschnitten, etabliert. Oft werden alte Miscanthusbestände für die Rhizomvermehrung gerodet, anstatt sie nur zu beseitigen. Dabei können sich je nach Eigenschaften des Mutterbestandes sehr unterschiedliche Pflanzgutqualitäten ergeben, die über den Erfolg einer Neuanlage entscheiden können. Selektionen neuer Miscanthustypen mit verbesserter Winterhärte würden den Erfolg des Feldaufgangs von Neupflanzungen unterstützen und eventuell sogar für eine Erweiterung des anbauwürdigen Typenspektrums sorgen. Sollte eine Vermehrung über Saatgut etabliert werden können, würde dies die Kosten einer Bestandesetablierung deutlich mindern und so zur Attraktivität von Miscanthus beitragen.

Mit der Novellierung des Erneuerbare-Energien-Gesetzes (EEG) im Jahr 2004 kam es zu einem regelrechten Biogas-Boom, in dessen Rahmen großflächig Energiepflanzen als Biogassubstrat angebaut wurden. Neben der Nutzung von Miscanthus als Rohstoff oder als Energieträger in der thermischen Verwertung wird nun auch eine weitere Verwendung der erzeugten Biomasse diskutiert. Aufgrund des hohen Massezuwachses wird bei Miscanthus trotz der starken Verholzung über Winter bei Verwendung des grünen Sommerschnittguts ein hohes Potenzial als Biogaskultur vermutet.

2 Miscanthus – Pflanze, Verfahren, Verwertung

2.1 Beschreibung von Miscanthus

Miscanthus oder auch Chinaschilf stammt ursprünglich aus dem ostasiatischen Raum (China, Korea, Japan). Er ist ausdauernd (perennierend) und wird in der Familie der Süßgräser (Poaceae) in die Unterfamilie der Bartgrasgewächse (Andropogonoideae) eingeordnet. Miscanthus gehört wie z. B. Mais oder Hirse zu den C4-Pflanzen, und hat damit ein hohes Potential Wasservorräte optimal auszunutzen und in hohe Biomasseerträge umzusetzen [58]. Sein Photosynthesemechanismus scheint besser an niedrige Temperaturen angepasst zu sein als bei anderen C4-Pflanzen [8].

Die Gattung Miscanthus lässt sich in 17 bis 20 Arten untergliedern [32]. Es gibt fertile und nicht fertile Varietäten, von denen die meisten im Garten- und Landschaftsbau als dekoratives Gras unter Berücksichtigung ästhetischer Aspekte zu finden sind [61]. Für den Zierpflanzenbau können fertile, weniger ertragreiche Varietäten über z. B. Sämlingsaufzucht leicht in Gewächshäusern angezogen werden.

Der für die Landwirtschaft zur Biomasseerzeugung interessante, hoch ertragreiche Cultivar Miscanthus x giganteus ist vermutlich ein triploider – und damit steriler – Hybrid aus der tetraploiden Form von Miscanthus sacchariflorus und einer diploiden Form von Miscanthus sinensis [21]. Dieser Miscanthus-Klon wurde im Jahr 1935 durch den Dänen Aksel Olsen von Japan nach Dänemark eingeführt und aufgrund seines großen Massenwuchses als Miscanthus sinensis ‘Giganteus‘ bezeichnet [102]. Als Klon „Aksel Olsen“ wurde er von dort weiter verbreitet, so dass alle verwendeten Miscanthus x giganteus-Pflanzen wohl auf diesen „Urklon“ zurückzuführen sein dürften.

Miscanthus sacchariflorus bildet unterirdische, lange und kriechende Rhizome, welche nach außen wachsen und sich über die Fläche ausbreiten. Miscanthus sinensis dagegen hat einen horstigen Wuchs mit kurzen, dicken Rhizomsprossen. Miscanthus x giganteus nimmt in Hinblick auf das Rhizomwachstum eine Zwischenstellung zwischen diesen beiden Arten ein [30] und bildet runde bis ovale Rhizome mit der Tendenz der Verkahlung im Inneren des Rhizoms, das dadurch ringförmig auseinanderwächst.

Miscanthus verspricht eine Vielzahl von Verwertungsmöglichkeiten und ein hohes Ertragspotential. Bei einer möglichen thermischen Verwertung würde wie bei anderer pflanzlicher Biomasse nur so viel CO₂ freigesetzt werden, wie beim Wachstum der Pflanzen aus der Atmosphäre gebunden wurde. Miscanthus bietet gute Voraussetzungen für hohe jährliche Biomasseerträge bei einem geringen Einsatz an Dünge- und Pflanzenschutzmitteln und kann daher als Low-input-Pflanze bezeichnet werden [75]. Inzwischen geht man von einer mindestens fünfzehn- bis zwanzigjährigen Nutzungsdauer aus [43][75]. Ein Schwachpunkt für eine großflächige Verwendung ist die Sterilität der landwirtschaftlich genutzten Sorten bzw. Cultivare, so dass diese nur vegetativ über Meristemkultur oder über Rhizomzerteilung aus Mutterpflanzen vermehrt werden können [21][22]. Dies resultiert in hohen Kosten für das Pflanzgut und die Anlage neuer Miscanthusflächen. Eine Beseitigung alter Bestände ist durch mehrmaliges Abmähen, mehrmaliges Grubbern und/oder den Einsatz eines Totalherbizides möglich [100].

2.2 Standortansprüche

Miscanthus ist in seinen Ansprüchen an Boden und Klima dem Mais sehr ähnlich. Gut durchwurzelbare, humose Mineralböden mit guter Wasserversorgung, großem Luftporenvolumen und hoher Bodenzahl sind bevorzugte Standorte. Mittel- und tiefgründige Braun- oder Parabraunerden mit hohem Humusanteil sind besonders günstig. Miscanthus kann aber auch nach intensiver mechanischer Lockerung mit Erfolg auf schwereren Standorten kultiviert werden. In einer Untersuchung [106] fallen im zweiten und vor allem im dritten Jahr mit steigendem Ertragsniveau die leichten gegenüber den schwereren Böden in der Ertragsleistung deutlich ab. Auf staunassen oder anmoorigen Böden kann Miscanthus sein Ertragspotenzial nicht ausschöpfen. Auf allgemein ungünstigen Standorten entwickeln sich die Bestände nur zögerlich und erreichen die standortgegebene höchstmögliche Ertragsleistung deutlich später (viertes bis fünftes Jahr). An zwei Standorten der Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft (TLL) wurden vom dritten bis elften Vegetationsjahr durchschnittlich über 20 t TM ha⁻¹ Ertrag ermittelt, wobei die Hauptertragsphase erst im vierten bis sechsten Standjahr begann [7][125].

Hinsichtlich eines gesichert hohen Ertrags ist von Lagen über 700 m über N.N. sowie von Lagen mit einer Durchschnittstemperatur unter 7 °C abzuraten. Niedrige Tagesmitteltemperaturen im Frühjahr wirken sich negativ auf die Jugendentwicklung aus, da sie ein rasches Wachstum behindern. Außerdem sind häufige Spätfröste oder kältestauende Tallagen problematisch. Frühfröste im Herbst können sich ebenso negativ auswirken wie häufige Wechsel von Frost-/Tauperioden oder auch Staunässe im Winter. Als kritische Temperatur für die Rhizome wurde eine Temperatur unter -5 °C ermittelt, wobei Jungpflanzen aufgrund des späten Abschlusses besonders gefährdet sind. Exponierte Lagen mit hoher Starkforstgefahr führen, vor allem bei ausbleibender Schneedecke, zu hohen Ausfällen und damit geringen Erträgen [50].

Für ein hohes Ertragspotenzial sind 700 bis 800 mm jährliche Niederschlagsmenge erforderlich. Eine gute Verteilung in der Hauptwachstumsphase von Mai bis September begünstigt das Wachstum. Eine hohe Wasserkapazität des Bodens wirkt sich ebenso förderlich aus wie eine lange Vegetationszeit und hohe Durchschnittstemperaturen während der Vegetationsperiode. Trockenperioden können sich negativ auf die Erträge auswirken [20][28][50][118].

2.3 Vermehrung

Als Vermehrungsverfahren bieten sich die mikrovegetative Vermehrung und die makrovegetative Vermehrung an. Bei Letzterer werden durch Teilung von Mutterrhizomen neue Setzlinge gewonnen (Abbildung 1).

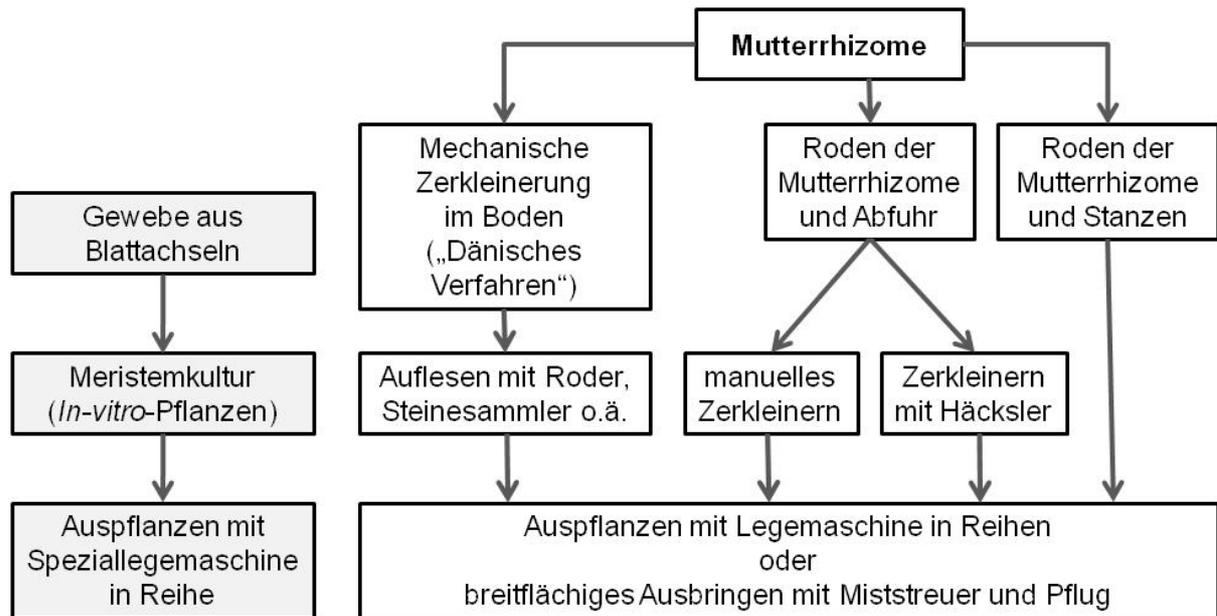


Abbildung 1: Vermehrungsverfahren für *Miscanthus x giganteus*

Durch Kreuzungen neuer *Miscanthus*-Typen könnten Formen entstehen die durchaus über Saatgut vermehrt werden könnten. Eine Anzucht von Jungpflanzen über Saatgut in Multitopfpfatten kann zu leistungsstarkem Pflanzmaterial führen, die eine gute Basis zur erfolgreichen Bestandesetablierung darstellen. Ziel einer weiteren Forschung sollte eine Direktaussaat auf der Fläche sein, welches die Anbaukosten weiter reduzieren würde [50].

2.3.1 Mikrovegetative Vermehrung

Bei der mikrovegetativen Vermehrung werden aus den Blattachsen Gewebeteile entnommen und unter sterilen Bedingungen im Gewächshaus angezogen und vermehrt [35]. Dabei entstehen aus dem embryonalen Gewebe zuerst Kalluskulturen, aus denen später Jungpflanzen gewonnen werden, die in kleinen Pflanztöpfen vertrieben werden [21][22][70]. Diese Jungpflanzen werden auch als Meristemkulturen oder *In-vitro*-Pflanzen bezeichnet.

Diese Vermehrungsart ist gängig (Einsatz z. B. auch bei der Vermehrung von Orchideen), aber vergleichsweise teuer. Der Lohnkostenanteil beträgt bei der mikrovegetativen Vermehrung ca. 70 %, daher ist diese Methode für einen großflächigen, wirtschaftlichen Anbau meist noch zu teuer [35]. Hohe Auswinterungsverluste der Meristemkulturen verteuern solche Bestandesetablierungen zusätzlich [85]. Die Rhizomvermehrung ist wesentlich kostengünstiger und kann bis auf ca. 20 % der Kosten für eine *In-vitro*-Pflanze gesenkt werden [52][85].

2.3.2 Makrovegetative Vermehrung

Unter makrovegetativer Vermehrung ist die Teilung der Mutterpflanze in kleine Rhizomstücke oder aber auch das Abstecken der unteren Stängelabschnitte zu verstehen [35]. In beiden Fällen

können die vegetativen Abschnitte zuerst im Gewächshaus vorgezogen oder aber auch direkt ausgepflanzt werden.

Im Frühjahr nach der Aberntung des oberirdischen Materials werden mehrjährige Mutterrhizome in Rhizomstücke zerteilt, welche anschließend direkt auf neuen Flächen ausgepflanzt werden. Dabei ist zwischen zwei Verfahren zu unterscheiden:

- Mechanische Zerkleinerung der Mutterrhizome im Boden mittels gezogenen oder zapfwel-lengetriebenen Bodenbearbeitungsgeräten wie z. B. Grubber, Kreiselegge, Zinkenrotor oder Fräse, mit anschließendem Auflesen durch z. B. Kartoffelroder, Steine- oder Blumenzwiebel-sammler [52][108],
- Entnahme ganzer Mutterrhizome mittels Pflug oder eines geeigneten Rodeaggregates und anschließender Zerkleinerung außerhalb des Bodens [52][85][92][106].

2.3.2.1 Mechanische Zerkleinerung im Boden

Rhizomstücke können in sog. Mutterquartieren entweder im Rahmen eines kompletten Umbruchs oder über eine Rhizomernte in zwei bis fünf Jahre alten Anlagen durch 1-2 maliges Überfahren gewonnen werden.

Der Sammelbegriff „Dänisches Verfahren“ bezeichnet die mechanische Zerkleinerung der Mutterrhizome im Boden. Diese Zerkleinerung erfolgt vorrangig mit rotierenden [46][52][59][89][98][108], aber auch mit gezogenen Bodenbearbeitungsgeräten (z. B. Scheibenegge) [126]. Eine Tiefenfräse scheint gut geeignet zu sein, große Rhizomstücke $> 23 \text{ cm}^3$ bzw. $> 25 \text{ g}$ für die nachfolgende Aufnahme auf der Oberfläche abzulegen [98]. Die Rhizomstücke werden mit Kartoffelroder, Steine- bzw. Blumenzwiebelsammler aufgenommen und gereinigt [98][108][126]. Am besten eignen sich für die Durchführung dieser Verfahren sandige Böden, da hier die Zerkleinerung leichter ist und geringere Mengen Erde an den Rhizomstücken anhaften [46][52][89].

Die dabei erzeugten Rhizomstücke sind in der Größe sehr heterogen und schwanken von 40 bis 100 g [46] bzw. $\leq 10 \text{ cm}$ bis $> 10 \text{ cm}$ [52]. Rhizomlängen von 7 bis 8 cm werden teilweise als gute Pflanzgutqualität bezeichnet [89], die Klassifizierungsnormen in große und kleine Rhizome sind bei einzelnen Autoren allerdings sehr unterschiedlich.

Der Nachteil dieser Verfahren ist das kleingeschnittene und inhomogene Rhizomabschnittmaterial. Da nach der Absiebung an den Abschnitten keine bis geringe Erdanteile haften, ist dieses Pflanzgut sowohl nach der Rodung, beim Transport als auch noch nach der Pflanzung austrocknungsgefährdet.

2.3.2.2 Mechanische Zerkleinerung außerhalb des Bodens

Eine weitere Möglichkeit ist das Herausroden von ganzen Mutterrhizomen oder großen Mutterrhizomstücken aus dem Boden. Nach der Abfuhr vom Feld lassen sich diese problemlos mit einem Schlegelhacker zerkleinern [98]. Ungeeignet sind Schlagrotorzerkleinerer, bei denen die Zufuhrorgane nach dem Hammermühlenprinzip arbeiten und daher laufend verstopfen.

Die manuelle Zerkleinerung nach Rodung eines Rhizoms eignet sich allerdings nur für kleine Verarbeitungsmengen. Bei den maschinellen Verfahren ist eine Teilmechanisierung erreicht, bei der ebenfalls noch sehr viel Handarbeit notwendig ist [103]. Ein weiterer Nachteil dieser Verfahren ist das entstehende, in der Größe sehr inhomogene Pflanzmaterial. Wird eine bestimmte Größe der Rhizomabschnitte gewünscht, ist eine zusätzliche Sortierung über eine Siebanlage unumgänglich.

Bezüglich der entstehenden Pflanzgutqualität lässt sich festhalten, dass bei Zerkleinerung der Mutterrhizome im Boden sämtliche Teile aufgenommen werden. Ob die entstehenden Rhizomabschnitte aus dem verkahlten Mutterrhizomzentrum oder von dem vitalen Randbereich stammen, kann nicht festgestellt werden. Vorstellbar wäre ein nachgelagerter Selektionsschritt nach Augenzahl (Anzahl triebfähiger Knospen), der aber einen hohen Zeitaufwand bedeuten würde. Zur Aufbereitung der Mutterrhizome außerhalb des Bodens ist beim manuellen Schneiden besonders darauf zu achten, dass an jedem Rhizomabschnitt mindestens ein oder mehrere unbeschädigte, austriebsfähige Augen vorhanden sind [64]. Bei der manuellen Zerteilung können auch wertlose Teile wie schwache Triebe oder ältere Rhizomteile aussortiert werden.

Am TFZ wurde eine Methode entwickelt und auf Praxisflächen getestet, bei der die Rhizome in einem Arbeitsgang gerodet und gestanzt werden [92]. Mit einem umgebauten Rübenladebunker, vorne durch ein Rodeschar und zwei Scheibenseche ergänzt, wurden die Mutterrhizome gerodet, durch Siebsterne von loser Erde befreit und mit einem Stanzaggregat, welches am Ende des Roders aufgesattelt wird, in fertige Pflanzquader geteilt. Querliegende Rhizomstücke führen, obwohl sie im Boden vorgeschritten werden, dennoch immer wieder zu Verstopfungen und Standzeiten. Steiniger Boden erschwert den Rodevorgang zusätzlich, das Stanzaggregat muss höchsten Materialbelastungen standhalten. Die Rodeleistung bleibt wegen der sehr schwer zu handhabenden großen Rhizomstücke und der Fahrgeschwindigkeit von maximal 300 m h^{-1} hinter der Schlagkraft anderer Verfahren zurück. Weiterer Nachteil ist der Besatz der erzeugten Pflanzquader mit 40 bis 50 % Erde, was zu hohen Pflanzgutmassen und damit hohen Transportkosten führt. Bei bestimmten Bodenarten werden auch Pflanzquader erzeugt, welche nur aus Erde bestehen und keinerlei Rhizommaterial enthalten, wodurch Lücken im anzulegenden Bestand unvermeidbar sind. Vorteil dieser Rhizomernetetechnik ist die Möglichkeit der Einlagerung der Pflanzenquader, bei schattigem und kühlem Milieu über einen Zeitraum von mehreren Tagen, da die anhaftende feuchte Erde das Rhizommaterial vor dem Austrocknen schützt.

2.3.3 Vor- und Nachteile der Vermehrungsverfahren

Bei der Gegenüberstellung von meristem- zu rhizomvermehrten Miscanthuspflanzen sind bei der Bestandesetablierung Unterschiede zu beobachten. Die über Meristemkultur erzeugten Pflanzen verfügen zunächst über ein kräftiges und dichtes Wurzelsystem, der für den Wiederaustrieb notwendige und nährstoffspeichernde Rhizomwuchs ist jedoch noch nicht oder höchstens in geringem Umfang vorhanden und entwickelt sich erst im Laufe der Vegetationsperiode. Bei diesen „Meristempflanzen“ kommt es häufig im ersten Winter zu hohen Ausfallraten, wahrscheinlich aufgrund der ungenügenden Rhizomausbildung im Pflanzjahr [54][85]. Das Rhizom ist der bedeutendste Nährstoffspeicher in der Miscanthuspflanze und somit ausschlaggebend für ein kräftiges

Sprosswachstum [107]. An exponierten Standorten kann die Verwendung ganzer, ungeteilter Rhizome mit mehreren Knospen zur Reduktion der Winterausfallrate sinnvoll sein.

Miscanthus ist, wie viele andere Kulturpflanzen, im Wurzelbereich mit Mykorrhizapilzen assoziiert, welche die Wasseraufnahme, Löslichkeit und Aufnahme von Mineralien sowie die Abwehr von Schadpilzen erhöhen können [56]. An Chinaschilf wurden außerdem Bakterien der Art *Azospirillum dobereineriae* und *Herbaspirillum frisingense* entdeckt, die nach bisherigen Erkenntnissen das Wurzelwachstum anregen [34]. Das Fehlen dieser Symbionten und assoziierter Bakterien könnte mit ein Grund sein, warum die steril angezogenen Jungpflanzen aus mikrovegetativer Vermehrung im Anpflanzjahr erhöhte Ausfallraten zeigen.

Bei makrovegetativer Vermehrung über Rhizomabschnitte ist, je nach Größe des Pflanzrhizoms, bereits ein mehr oder minder großer Reservestoffspeicher vorhanden, in den im Herbst Nährstoffe rückverlagert werden können [85][86]. Es wurde auch bei Rhizompflanzen eine zeitigere Rückverlagerung von Reservestoffen gegenüber Meristempflanzen festgestellt [86]. Die makrovegetativ vermehrten Bestände bilden im Pflanzjahr geringere Triebzahlen aus und lenken ihre Energie mehr in die Entwicklung des Rhizomkomplexes, somit überstehen sie verlustlos den Winter [86].

Die anfänglichen Unterschiede zwischen Meristem- und Rhizompflanzen verwachsen sich nach zwei bis drei Jahren völlig [86]. Dies deckt sich mit der allgemeinen Beobachtung, dass Miscanthusbestände ab dem zweiten Standjahr nicht mehr auswintern [85]. Insgesamt werden folgende Argumente für eine Rhizomvermehrung genannt [86]: Senkung der Pflanzgutkosten im Vergleich zu „Meristempflanzen“ sowie weniger Ausfälle. Bei optimalen Pflanzbedingungen ist für Pflanzgut aus beiden Vermehrungsverfahren eine gleich schnelle Bestandesentwicklung gegeben.

2.4 Neuanlage und Bestandesdichte von Miscanthusbeständen

Neupflanzungen sind sowohl von Frühjahr bis Herbst möglich, wobei im Sommer nur Meristempflanzen empfohlen werden, da bei Rhizomabschnitten ein zu hohes Austrocknungsrisiko besteht. Von einer Pflanzung auf Standorten mit hohen N_{\min} -Gehalten (z. B. nach Grünlandumbruch) wird abgeraten, da das hohe Stickstoffangebot das oberirdische Pflanzenwachstum auf Kosten der Rhizomausbildung fördert, so dass das Auswinterungsrisiko steigt.

Die Größe der Rhizomabschnitte hat einen erheblichen Einfluss auf die Überlebensrate und die Triebzahlen. Die Größe der in der Praxis verwendeten Pflanzrhizome ist sehr unterschiedlich und reicht von 2 bis 20 cm. Eine Größe von ca. 5 bis 8 cm wird in der Literatur überwiegend empfohlen [52][85][106].

Bei der problematischeren Herbstpflanzung sind größere Rhizomabschnitte von Vorteil, während bei der Neuanlage im Frühjahr auch mit kleineren, fingerlangen Rhizomstücken ausreichende Feldaufgänge realisiert wurden, deren Triebzahl allerdings hinter der der großen Rhizomstücke zurückblieb [96]. Zu vergleichbaren Ergebnissen kommt eine Untersuchung mit Rhizomabschnitten, die in Größenklassen kleiner bzw. größer als 10 cm sortiert und getrennt gepflanzt wurden. Dabei waren die Überlebensraten größerer Rhizomabschnitte höher, zum ungüns-

tigen Pflanzzeitpunkt sogar deutlich höher als die kleineren Abschnitte (82 % gegenüber 32 %) [52]. In bayerischen Versuchen wurde bei Frühjahrs- und Herbstpflanzung ein deutlich besseres Anwachsen und Überwintern der größeren Rhizome, auch unter Trockenheit, festgestellt [86]. Insgesamt gilt also: Je größer der Rhizomabschnitt, desto sicherer die Bestandesgründung. Bei der Ablagetiefe gehen die Angaben, vermutlich aufgrund unterschiedlicher Rhizomgrößen, weit auseinander. Als positiv für die Überwinterungsraten hat sich eine Pflanztiefe von ca. 15 bis 20 cm erwiesen [46][52][85]. Andere Quellen empfehlen eine Ablagetiefe von 8 cm bei Rhizomen mit einer Schenkellänge von 6 bis 13 cm [28], während faustgroße Rhizomabschnitte (ca. 7 mal 7 cm) auf 10 bis 15 cm Tiefe abgelegt werden sollen [118]. Auf schweren Böden kann etwas flacher gesetzt werden [20].

Hohe Winterausfallraten Anfang der 1990er Jahre machten deutlich, dass mit *Miscanthus x giganteus* eine Wildpflanze angebaut wurde, deren Winterfestigkeit unter mitteleuropäischen Bedingungen vor allem bei Jungpflanzen nur bedingt gegeben war. Für die Überwinterungsfähigkeit erwiesen sich Pflanztermin, Winterfestigkeit der Sorten, Qualität des Pflanzguts, Witterungsverlauf, Standortwahl, Unkrautbesatz und Vorbereitung der Fläche als entscheidende Faktoren. In Neuanlagen kann eine Mulfschicht (z. B. Strohabdeckung) als Vorbeugemaßnahme gegenüber Winterausfall erfolgreich eingesetzt werden.

Die Pflanzung sollte im Frühjahr baldmöglichst nach den letzten Spätfrösten stattfinden. [20]. Der Monat Mai hat sich in Bezug auf Anwachergebnis und Entwicklung bis zum Herbst als günstigster Pflanzzeitraum erwiesen [62].

Miscanthus erweist sich im Anlagejahr als konkurrenzschwach, weshalb die gezielte Bekämpfung von Verunkrautungen im Vorfeld der Flächenanlage anzuraten ist. Im konventionellen Landbau ist vor der Pflanzung der Einsatz glyphosathaltiger Mittel ratsam. Wie für eine Maisaussaat sollte das Saatbett tiefgründig gelockert und unkrautfrei sein. Um ein sicheres Anwachsen zu gewährleisten, muss der kapillare Wasseranstieg bis an das Pflanzgut sichergestellt sein.

Für die Pflanzung haben sich in der Praxis zwei- bis vierreihige Geräte bewährt, die nach dem Prinzip von alten, halbautomatischen Kartoffellegemaschinen arbeiten [28][91][118]. Prinzipiell eignen sich alle üblichen Pflanzmaschinen aus dem Gemüsebau sowie dem Forst [62]. Eine weitere Möglichkeit ist das breitflächige Ausbringen der Rhizomabschnitte auf der vorbereiteten Fläche (z. B. mit einem Miststreuer) mit anschließendem Unterpflügen. Vor dieser Methode ist bei schweren Böden abzuraten, da zwischen den Erdschollen Hohlräume entstehen können. Die eingepfugten Rhizomabschnitte werden dann nur unzureichend bedeckt und können mit dem Risiko des kompletten Absterbens austrocknen.

Zur optimalen Bestandesdichte von *Miscanthus* gibt es verschiedene Erfahrungen. Mehrjährige Erhebungen an *Miscanthus*beständen mit Bestandesdichten von 1, 2 und 3 Pflanzen je m² ergaben in den ersten beiden Jahren einen signifikanten Ertragsvorteil der dichteren Bestände, der nach und nach abnahm und ab dem 4. Jahr nicht mehr belegt werden konnte [107]. Bei gleichen Varianten ergab ein Versuch der Bayerischen Landesanstalt für Weinbau und Gartenbau (LWG), dass ab dem vierten Anbaujahr kein gravierender Ertragsunterschied mehr besteht und ein Pflanzenbestand von einer Pflanze je m² für eine langfristige gute Ertragsbildung ausreicht.

In einem anderen Versuch wurde hingegen über mehrere Jahre ein signifikant positiver Einfluss der dichteren Bestände auf den Biomasseaufwuchs festgestellt und eine Pflanzdichte von 1,5 bis 2 Pflanzen je m² empfohlen [10]. Auch in einem weiteren, zehnjährigen Bestandesdichteversuch mit 1 bis 4 Pflanzen je m² zeigte sich ein Vorteil dichterer Bestände. Der Ertragsdurchschnitt über alle Jahre belief sich bei 1 Pflanze je m² auf 12,8 t ha⁻¹, bei 2 und 3 Pflanzen je m² auf 15,5 t ha⁻¹ und bei 4 Pflanzen je m² auf 17,9 t ha⁻¹ [25].

In anderen Literaturquellen findet man Empfehlungen zu Pflanzverbänden von 1 mal 1 m oder 0,9 mal 0,9 m, was 1,2 Pflanzen je m² entspricht [28][86]. In Bezug auf Verunkrautung ist die Anpflanzung mit nur 1 Pflanze je m² wegen Pflanzenausfällen risikoreicher, da die Lücken bei *M. x giganteus* nur langsam zuwachsen. Trotzdem werden aufgrund der Kosten bei der Bestandesetablierung Pflanzdichten mit 1 Pflanze je m² bevorzugt [107]. Bisherige Erfahrungen zeigen, dass der bei der Bestandesgründung verbundene Mehraufwand für höhere Bestandesdichten nicht durch höhere Erträge wirtschaftlich ausgeglichen werden kann [60][62].

In der Praxis hat sich weitgehend eine Pflanzdichte von 1 Pflanze je m², mit Reihenabständen von 75 oder 100 cm durchgesetzt. Das TFZ empfiehlt einen Reihenabstand von 75 cm, bei einem Abstand in der Reihe von 133 cm. Für eine bessere Standraumverteilung und schnelleren Lückenschluss bei Ausfällen hat sich in der Praxis eine versetzte Ablage zur benachbarten Reihe bewährt.

2.5 Pflanzenschutz

Bei der Novellierung des Pflanzenschutzgesetzes (PflSchG) wurde die sog. Indikationszulassung eingeführt. Für *Miscanthus* gibt es derzeit in Deutschland kein zugelassenes Herbizid. Nach § 18 b (PflSchG) kann vom Landwirt bei der zuständigen Behörde, in Bayern bei dem jeweils regional zuständigen Amt für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten, eine Ausnahmegenehmigung beantragt werden.

Unkrautfreie Bestände sind durch die Ausschaltung der Konkurrenz wesentlich trieb- und wuchsfreudiger. *Miscanthus* reagiert im Frühstadium der Entwicklung, vor allem im Anpflanzjahr, aber auch im ersten Standjahr, sehr empfindlich auf Konkurrenz hinsichtlich Stickstoff und Licht [80]. Hoher Unkrautdruck reduziert die Zahl der Triebe, fördert allerdings gleichzeitig das Längenwachstum. Das Größenwachstum des Rhizoms wird dadurch reduziert, was sich negativ auf die Überwinterungsrate und Ertragsleistung im Folgejahr auswirkt. Deshalb ist die Beseitigung unerwünschter, vor allem hochwachsender Konkurrenten wie z. B. Melde, Amaranth, Disteln und ausdauernde Ungräser (Quecke, Hirse) im Anpflanzjahr die Voraussetzung für eine schnelle Bestandesetablierung.

Vor der Pflanzung empfiehlt sich ein glyphosathaltiges Totalherbizid mit einer Aufwandmenge von 3 bis 5 l ha⁻¹ [10][28]. Entwickelt sich eine Spätverunkrautung, so ist eine weitere Pflanzenschutzmaßnahme förderlich. In jungen *Miscanthus*beständen können alle Mais- und Getreideherbizide eingesetzt werden [80][112]. Nach Erfahrungen aus Versuchen des TFZ wird allerdings von Herbiziden mit den Wirkstoffen Nicosulfuron oder Dicamba abgeraten. *Miscanthus* ist herbizidverträglich gegenüber Gropper, Starane 180 und Duplosan, sofern Gräsermittel für Trieb-

längen < 5 cm eingesetzt werden [124]. Gute Erfolge wurden auch mit Stomp SC bei Einsatz im 2. und 3. Standjahr beobachtet [9]. Bayerische Untersuchungen ergaben keine Schadeinwirkung durch die Wachstoffs DP, MCPA, MCPP, 2-4 D, durch die Sulfonylharnstoffe Pointer, Gropper, Concert oder durch andere Mittel wie z. B. Lontrel und Starane [62]. Starke Verungrasung nach dem ersten Standjahr kann im zeitigen Frühjahr vor dem Neuaustrieb des Miscanthus mit einem Totalherbizid (Aufwandmenge 3 l ha⁻¹) reguliert werden [10][80]. Eine Unkrautbekämpfung ist lediglich in den ersten zwei bis drei Jahren erforderlich.

Wenn chemische Maßnahmen nicht in Frage kommen wie z. B. im ökologischen Landbau, wenn die Unkräuter oder Ungräser schon zu groß sind oder wenn chemischer und mechanischer Pflanzenschutz kombiniert werden sollen, kann die Unkrautbekämpfung erfolgreich mit Hackstriegel und Hackgerät durchgeführt werden. Eine nach der Pflanzung aufgebrauchte Mulchschicht z. B. aus Miscanthushäcksel reduziert den Unkrautaufruchst deutlich. Versuche des TFZ bestätigen, dass Mulchen eines komplett verunkrauteten Bestandes im Zeitraum Juni bis Juli den Miscanthuspflanzen beim Wiederaustrieb einen Wachstumsvorsprung gegenüber dem Unkraut bringt. Bei Ausbildung einer dichten Grasnarbe entwickeln sich die Miscanthuspflanzen nur kümmerlich oder können nach einigen Jahren absterben [80], daher sind Maßnahmen zur Unkraut- und Ungraskontrolle auf jeden Fall zu empfehlen. Im Anlagejahr sind Miscanthusbestände noch relativ empfindlich, weshalb ein Striegeleinsatz nur vorsichtig durchzuführen ist [28]. Miscanthus kann alle 10 Tage ohne Schädigung gestriegelt werden, wobei im zweiten Jahr die Wuchshöhe von 50 cm nicht überschritten sein sollte [124].

Nach bisherigen Erfahrungen wird Miscanthus nicht von Schädlingen befallen. In staunassen Lagen kann es zu Pilzbefall mit *Alternaria* (Wurzelbrand) und *Rhizoctonia* kommen [77].

2.6 Düngung

Die Rückverlagerung von Nährstoffen im Herbst aus den Halmen in das Rhizom sowie der Blattfall über Winter erlauben die Kultivierung von Miscanthus als Low-input-Pflanze bezüglich der Düngergaben. Im Frühjahr stehen diese eingelagerten Nährstoffe für den Wiederaustrieb zur Verfügung [58]. Die Höhe der Rückverlagerung ins Rhizom wird durch die jeweiligen Standort- und Klimabedingungen beeinflusst [93]. Für die Höhe des dauerhaften Nährstoffaustrages aus der Fläche durch die Entnahme der Ackerpflanzen ist zudem der Zeitpunkt der Ernte von entscheidender Bedeutung, da die Miscanthusblätter, mit im Vergleich zur Gesamtpflanze höherem Mineralstoffgehalt, über Winter abfallen und auf der Fläche verbleiben [51][72][119].

Die Entzugswerte für die wichtigsten Nährstoffe liegen je nach Quellenangabe für N bei 1,2 bis 6,7 kg ha⁻¹ je t TM, für P₂O₅ bei 0,2 bis 1,1 kg ha⁻¹ je t TM und für K₂O bei 4 bis 9 kg ha⁻¹ je t TM [51][71][72][119]. Aufgrund des schnellen Wachstums im Zeitraum von Mai bis Juli hat Miscanthus x giganteus zu dieser Zeit auch den höchsten Nährstoffbedarf. Die Notwendigkeit einer Düngergabe hängt primär vom Standort ab. Bei gutem N-Nachlieferungsvermögen oder geringer Wasserverfügbarkeit ist eine Düngung nicht angezeigt. Lediglich bei ausreichender Wasserversorgung und geringem Nachlieferungsvermögen sollte je Hektar mit maximal 5 bis 8 kg N

bzw. K pro Tonne geernteter Trockenmasse gedüngt werden, um den Nährstoffentzug auszugleichen [50].

Die Wirkung von Düngungsmaßnahmen, insbesondere von Stickstoff, ist in der Literatur unterschiedlich dokumentiert. Auf humosen, gut mit organischem N versorgten Böden reichen 50 bis 70 kg N ha⁻¹ a⁻¹ aus [76]. N-Gaben über 50 kg ha⁻¹ können laut einer anderen Quelle nicht mehr ertragswirksam umgesetzt werden [100]. Miscanthus hat durch seine tiefen Wurzeln ein großes Nährstofferschließungsvermögen [38]. In einer Untersuchung des Erntegutes zu verschiedenen Zeitpunkten nahm die Konzentration aschebildender Elemente, Stickstoff, Chlor und Schwefel von Dezember bis Februar signifikant ab [73]. Bei einer guten Nachlieferung von Stickstoff über den Boden hat eine Düngung selten eine direkte Ertragswirkung [50], zusätzlich wirkt das Rhizom als Speicher und Puffer für Nährstoffe [55].

2.7 Beerntung

Die Form des Miscanthus-Ernteguts und damit die Erntetechnik müssen auf die nachfolgend geplanten Verarbeitungsprozesse abgestimmt sein (Abbildung 2). Die Häcksellänge, welche auch die Durchsatzleistung bestimmt, sollte nicht kürzer sein als vom Endnutzer gefordert [52]. Falls auf dem Feld gehäckselt wird, ist ein weiteres Ziel schon hier den Staub- und Kurzfaseranteil zu minimieren.

2.7.1 Erntezeitpunkt

Während des Winters fallen die meisten Blätter ab, was eine Verbesserung der Erntegutqualität bewirkt, da die Blätter höhere Gehalte aschebildender Elemente, Stickstoff, Chlor- und Kalium haben [72]. Allerdings sind die Erntemengen im Frühjahr deutlich geringer als im Herbst (bis minus 14,3 %), was auf den Blattfall und auf Ernteverluste in Form kurzer, abgebrochener Nachschosser zurückzuführen ist [78]. In anderen Quellen wird eine Diskrepanz zwischen dem im November ermittelten Biomasseaufwuchs und dem im folgenden Frühjahr tatsächlich geernteten Ertrag von 45 % genannt [10].

Das Problem bei voller Ausnutzung des Erntefensters von Dezember bis Mitte April ist der hohe Wassergehalt, der in den Wintermonaten bis über 50 % beträgt. Der zu bevorzugende Erntezeitraum liegt deshalb zwischen Anfang März und Mitte April, wenn die Bestände auf Wassergehalte um 15 % abgetrocknet sind. In dänischen Untersuchungen [43][52] ging der Wassergehalt von 60 bis 70 % bei der Herbsternnte auf weniger als 20 % bei Beerntung im April zurück.

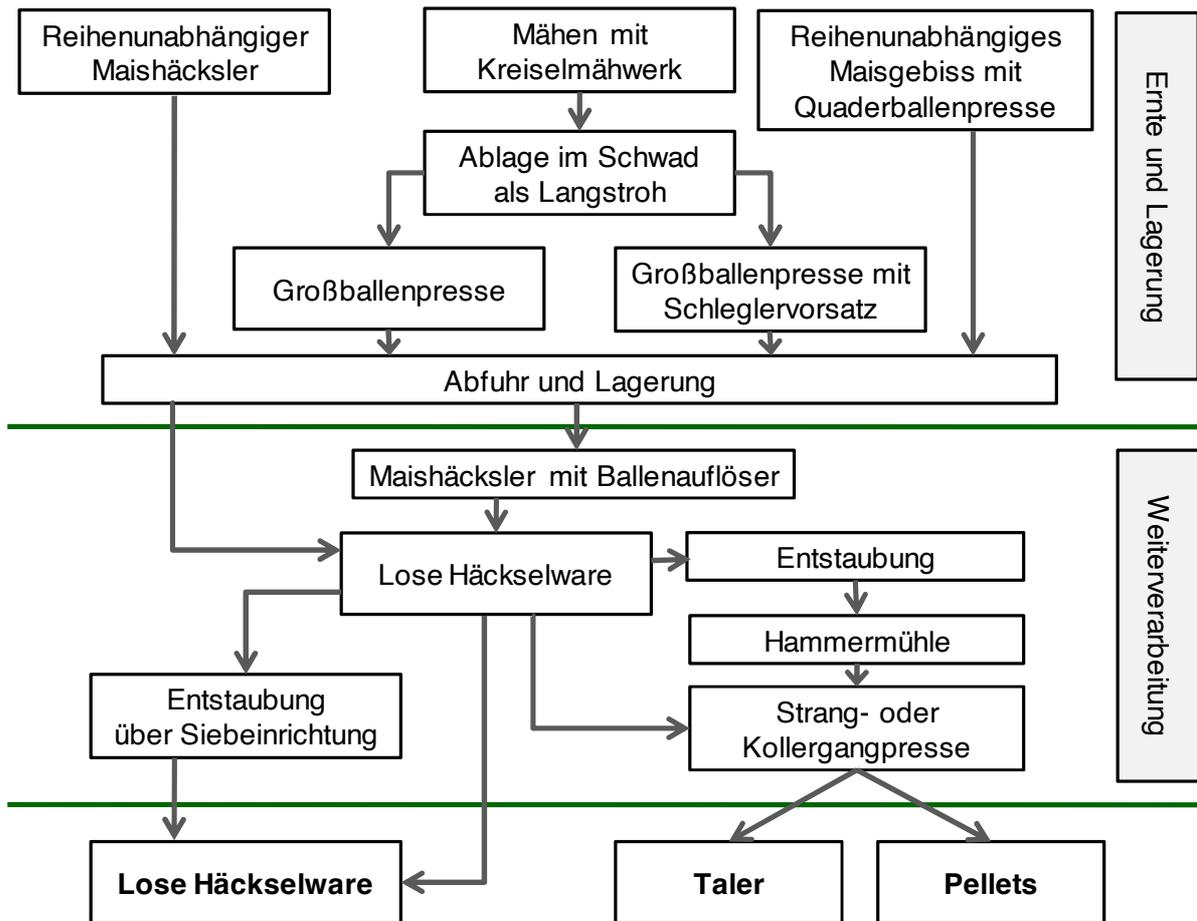


Abbildung 2: Ernte- und Weiterverarbeitungsverfahren für Miscanthus

2.7.2 Bergung als Häckselgut

Für kurze Entfernungen zwischen Feld und Einlagerung bzw. Weiterverarbeitung, bei welchen die Transportkosten eine untergeordnete Rolle spielen, eignet sich die reihenunabhängige Häckslerkette analog zur Silomaisbergung mit Selbstfahrem [53]. Das Material wird dabei in Abhängigkeit von Messeranzahl und -einstellung auf Längen zwischen 15 und 70 mm gehäckselt, lose abgefahren und entweder als unbefestigter Haufen oder in einem Fahrsilo gelagert. Unter günstigen Verhältnissen kann mit etwa 1 Stunde Zeitaufwand je Hektar, bei Lager des Pflanzenbestandes mit 1,5 bis 2 Stunden je Hektar gerechnet werden [79].

Das Schüttgewicht von Miscanthushäckselgut ist mit ca. 70 bis 90 kg je Kubikmeter relativ gering [38][52]. Die Transportkosten können bei größeren Entfernungen nur durch die Verwendung von großvolumigen Abfuereinheiten niedrig gehalten werden. Ein großer Vorteil dieses Verfahrens ist, dass das geerntete Material keinerlei Bodenkontakt hat [38], ein Nachteil ist der große Lager-raumbedarf [53].

2.7.3 Bergung mit feldseitiger Verdichtung

Sind große Entfernungen zu überbrücken oder ist nur geringer Lagerraum vorhanden, so ist eine feldseitige Vorverdichtung sinnvoll [53]. Der stehende Bestand wird mit Schlepper und z. B. einem Kreiselmäherwerk als Langstroh auf Schwad gelegt und anschließend mit einer Großballenpresse aufgenommen und verdichtet, wobei die Stängel beim Einrollen nur geknickt werden. Die Strohballen erreichen eine Trockenmassedichte von ca. 140 kg m^{-3} [38] und werden wie Getreidestrohballen oder Heuballen mit herkömmlicher Technik abgefahren und eingelagert. Ein Nachteil des absätzigen Verfahrens ist zum einen die Verschmutzungsgefahr durch Bodenkontakt und zum anderen die Aufnahme von bereits abgefallenen, feuchten und zum Teil angeschimmelten Blättern in das Erntegut [38][117].

Alternativ können selbstfahrende oder gezogene Quaderballenpressen verwendet werden, bei denen durch Vorschalten eines reihenunabhängigen Maisgebisses das Erntegut in einem Arbeitsgang gemäht und ohne Bodenkontakt der Presse zugeführt wird. Die Maschinenringkosten für dieses Verfahren betragen zur Ernte im Frühjahr 2005 je Ballen 9,30 € frei Feld bei einem Volumen von 2 m^3 und einem Gewicht von 150 kg m^{-3} .

2.7.4 Trocknung und Lagerung

Miscanthus kann als Häckselware und oder in Form von Großballen gelagert werden. Dies belegt eine Untersuchung aus den 1990er Jahren, bei der bei beiden Lagerformen keine Qualitätsverminderung festgestellt wurde [117]. Liegt der Wassergehalt über 20 %, kann es zur Schimmelbildung und damit auch zur Klumpenbildung kommen, was z. B. bei automatisch beschickten Heizanlagen stören kann [79][80]. Für eine eventuell notwendige Trocknung eignet sich eine Belüftungstrocknung in Kombination mit einer Kühlbelüftung. Eine Lagerung unter Dach zum Schutz vor Regen wird empfohlen, eine Abdeckung mit Folie im Freien stellt nur ein Provisorium dar.

2.8 Verarbeitung von Miscanthusstroh

Die holzartigen Stängel können in ein oder zwei Stufen aufbereitet werden. Üblicherweise erfolgt in Stufe 1 die Vorzerkleinerung mit einem Häcksler oder Zerfaserer und in Stufe 2 die Zerkleinerung mittels Mühlen auf die entsprechende Zielgröße [66]. Ein Ziel ist es, den Staubanfall bereits bei der Zerkleinerung zu minimieren [66].

Im Normalfall ist die lose Häckselware das Ausgangsprodukt für die weitere Verarbeitung, sei es zu entstaubter Häckselware, zu Talern oder zu Pellets. Gleichmäßig kurz gehäckseltes Miscanthusmaterial (Länge ca. 3 cm) ist gut rieselfähig und rinnt problemlos aus einem Vorratsbehälter zur Förderschnecke in den Feststoffbrenner [79]. Die problematische Staubbelastung, die bei Hammermühlen und Schneidmühlen mit Parallelschnitt 7 bis 10 % ausmacht, kann durch Doppelschrägschnittschneidmühlen auf 0,5 % gesenkt werden [66]. Neben Hammer- und Doppelschrägschnittschneidmühlen werden auch Prallzerkleinerungsmühlen verwendet, welche mit austauschbaren Siebeinsätzen ausgestattet sind, die die Partikelgröße nach oben begrenzen [38].

Um hohe volumetrische Energiedichten zu erzeugen, werden Kolbenstrangpressen zum Brikettieren (Endprodukt Miscanthustaler) oder Kollergangpressen zum Pelletieren (Miscanthuspellets) eingesetzt (Abbildung 3). Der Durchmesser des Presskanals bei Strangpressen variiert von 40 bis 100 mm, wobei der Bereich zwischen 50 und 70 mm besonders häufig vorkommt [38]. Bei Kollergangpressen liegen die Durchmesser üblicherweise bei 6 bis 16 mm. Pelletieranlagen für Sägemehl können ebenso zum Pelletieren von Miscanthus verwendet werden, sofern dieser mit Exakthäcksler geerntet wurde [52]. Zugabe von Klebstoffen oder Bindemitteln ist nicht notwendig, allerdings muss das Material mittels Hammermühle sehr fein (< 5 mm) zerkleinert werden und der Pressgang darf nicht länger als 40 mm sein, da es sonst zur Erwärmung und Verstopfung kommt. Logistischen Vorteilen, günstigen Fließ- und Dosiereigenschaften und geringer Staubentwicklung bei der Brikettierung bzw. Pelletierung stehen hohe Produktionskosten von ca. 50 bis 90 € je Tonne Miscanthus und die genannten technischen Schwierigkeiten gegenüber.



Abbildung 3: Aus Miscanthus-Material gewonnene Briketts und Pellets

2.9 Verwertungsmöglichkeiten von Miscanthus

Miscanthus ist im Bereich der stofflichen und energetischen Verwertung vielseitig einsetzbar (Abbildung 4). Die Anforderungen an das Ausgangsmaterial sind je nach Verwertungsziel sehr unterschiedlich und können diesen sowohl durch die Sortenwahl, den Erntezeitpunkt, mecha-

nische Bearbeitung bei oder nach der Ernte oder auch durch chemische Maßnahmen angepasst werden.

Die Forderung nach der Standfestigkeit der Bestände ist für alle Verwertungsrichtungen gleich, um Ertragsverluste, Ernteverzögerung und Qualitätsverminderung zu vermeiden. Bei der Frage des Blattanteils im Erntegut gehen die Anforderungen der Nutzungsrichtungen auseinander, auf diesen Punkt wird bei Relevanz in den Unterkapiteln eingegangen.

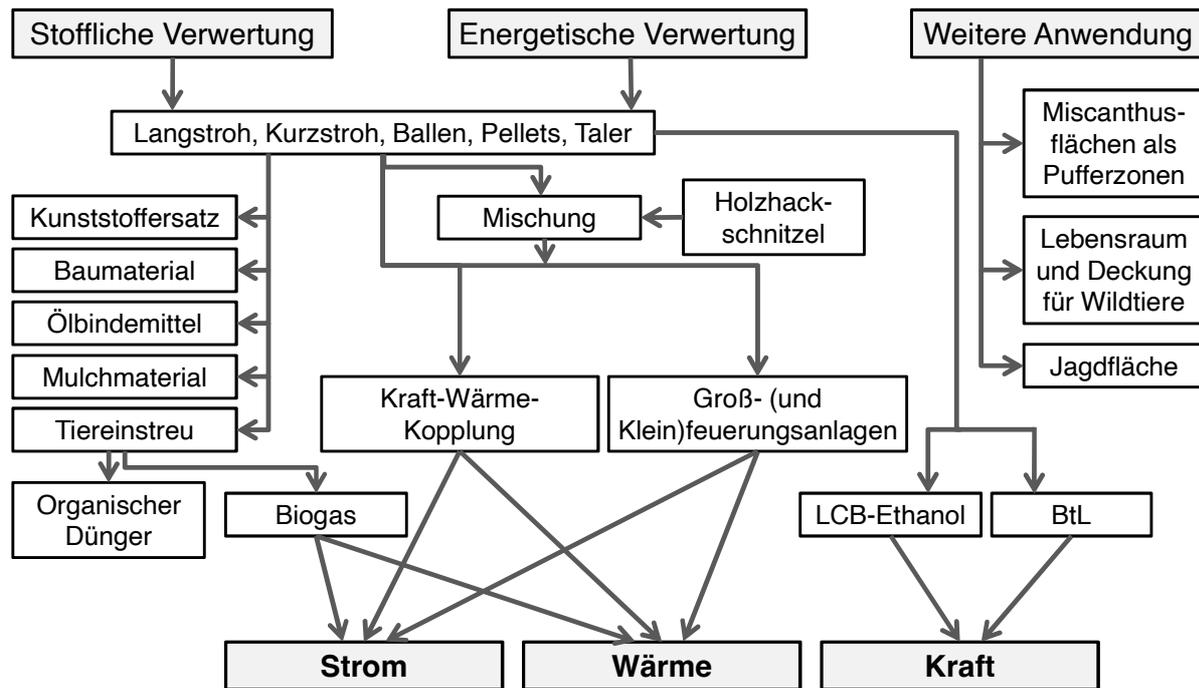


Abbildung 4: Verwertungsmöglichkeiten von Miscanthus

2.9.1 Stoffliche Verwertung

Miscanthus besitzt ein großes Nutzungspotenzial als Ausgangsstoff für den Innenausbau und die Dämmung im Bauwesen. Als Baumaterial für ökologische Bauweise lässt sich Miscanthus im Bereich Außenwände in Wohnbauten als Dämmmaterial, Dämmplatten, Mauersteine, Leichtbetonsteine, Außen- und Innenputze, Trittschalldämmung oder Estrichbestandteil gut verwerten [40][67][84], wobei für das gesamte Bausystem Patentschutz besteht [42]. Während in Österreich und in der Schweiz Miscanthus als Baustoff bereits zugelassen wurde, ist dies in Deutschland noch nicht der Fall.

Für die Erzeugung von mineralisch gebundenen Baustoffen muss das Ausgangsprodukt kurz gehäckselt und gut rieselfähig sein [42][47]. Bei der Verarbeitung werden, je nach Art des Baustoffes, verschiedene Faserlängen in modifizierten Schneidmühlen mit Doppelschrägschnitt erzeugt [67], oder durch chemische Verfahren, z. B. durch ein modifiziertes Nassverfahren unter Zugabe eines kostengünstigen Polyvinylacetat-Bindemittels und weiterer Additive, weiter aufgeschlossen [47]. Unter Laborbedingungen wurden bauphysikalische Untersuchungen an Dämmplatten durch-

geführt [47][48][94] und wesentliche Eigenschaften, wie Bearbeitbarkeit mit Normalwerkzeug, Schädlings- und Pilzresistenz, Recyclingfähigkeit und biologische Abbaubarkeit, nachgewiesen. Weitere Vorteile sind die ausgeprägte Parenchymmatrix, durchwachsen von Festigkeitssträngen sowie die hohe Festigkeit der Fasern bzw. Faserbündel, die steif, gerade, nicht knäuelnd und gut fließend sind [40]. Letztere Eigenschaft lassen sie leicht in eine Polymermatrix einarbeiten, auch bei Spritzguß. Als Nachteile sind der hohe Gehalt an aschebildenden Stoffen mit einem hohen Anteil kristalliner Struktur und die extrem harte und feste äußere Halmzone, welche für einen sehr hohen Werkzeugverschleiß verantwortlich sind, anzuführen [40].

Untersuchungen an gepressten Miscanthusspänen ergaben eine Wärmeleitfähigkeit von $0,040 \text{ W mK}^{-1}$. Dies kommt der Wärmeleitfähigkeit konventioneller, auf dem Markt befindlicher Dämmstoffe gleich. Die notwendige Druckstabilität für den Verbau wird erreicht, indem Miscanthus Beton beigemischt wird ($\lambda = 0,10 \text{ W mK}^{-1}$) [6]. Für das Verkehrswesen wurden schalldämmende Vorwand-Schallschutzelemente auf Betonbasis mit speziell aufbereiteten Bestandteilen von Hanf (Hanfschäben) und Miscanthus hergestellt. Diese sind aus technisch-technologischer, bauphysikalischer, wirtschaftlicher und ökologischer Sicht für den Einsatz im passiven Lärmschutz geeignet und übertreffen hinsichtlich Schalldämmung und Brandschutz die vorgegebenen Mindestwerte [68]. Mit Bindemitteln auf Naturstoffbasis kann Miscanthus staubfrei bei Putz, Schüttdämmstoffen, Dämmplatten und Faserestrichen Verwendung finden [123]. Leichtbauplatten in Sandwichbauweise (LNS), bei denen die Deckschichten überwiegend aus Sperrholz bestehen, beinhalten im Kern Halm bzw. Halmabschnitte, welche, z. B. mit Klebstoffen auf Basis pflanzlicher Proteine und Öle verklebt, eine leichte, wärmedämmende und formstabile Platte ergeben. Hierfür sind langhalmige Miscanthustypen mit großem Halmdurchmesser von Vorteil [109].

Durch mechanisch-thermische Bearbeitung entsteht aus Miscanthus ein biologisch abbaubares Granulat, das spritz-, press- und gussfähig ist und als Kunststoffersatz verwendet werden kann [27][42][45][84]. Beispiele für diese Verwertung sind Pflanzgefäße und Partygeschirr.

Eine weitere Möglichkeit ist die Verwendung für Dacheindeckungen. Dazu werden Miscanthusstängel mit einer wasserdichten, umweltfreundlichen und feuerabwehrenden Folie (System EcoKap) verklebt und können dann schichtweise wie Dachschindeln übereinander gelegt und montiert werden. Im Vergleich zu Schilfdächern bieten die Dacheindeckungen aus Miscanthus einen besseren Feuerschutz und gelten in den Niederlanden als preiswerter, beständiger und leichter zu pflegen [24]. Für diese Verwertungsrichtung werden gerade gewachsene, dünnhalmige, kurz- bis mittellange Miscanthustypen benötigt, welche in ihren Halmeigenschaften eine möglichst große Ähnlichkeit zu Reet aufweisen [109].

Pferdehaltende Betriebe verwenden unterschiedlichstes Einstreumaterial und sind ständig auf der Suche nach Alternativen [33][82]. Auf dem Markt üblich sind z. B. lose Holzspäne, loses Sägemehl, Holzpellets, Getreide-Langstroh, Getreide-Häckselware, Strohpellets, Strohtaler sowie Mischprodukte aus verschiedenen Komponenten, bei denen unter anderem auch Hanf oder Papier eingemischt wird. Beim Einstreuen in die Boxen werden auch verschiedene Materialien gemischt wie z. B. Holzpellets zur Matratzenbildung und obenauf loses Getreidestroh. Bei vielen Materialien fallen große Mengen Mist an, der teilweise, dies gilt z. B. für Holzspäne, nicht zur Ausbringung auf landwirtschaftlichen Betriebsflächen geeignet ist. Nach bisheriger Erfahrung eignet sich

Miscanthus als hochwertige Tiereinstreu vor allem in der Pferdehaltung, aber auch in Tieflaufställen bei Großvieh sowie als Häcksel bei Schweinen und Geflügel [27][29][84]. In der Schweiz wird für lose Tiereinstreu speziell für Pferdehalter Miscanthus auf 15 mm Länge gehäckselt und entstaubt angeboten [27]. In England wird Miscanthus als Pferdeeinstreu immer häufiger als ein sicheres und hoch saugfähiges Material akzeptiert, das bis zum dreifachen seines Gewichtes an Wasser aufnehmen kann. Der jährliche Einstreubedarf eines Pferdes liegt bei ca. ein bis zwei Tonnen. In Bayern stehen bei 23.000 Pferdehaltern rund 115.000 Pferde, in der Bundesrepublik bei 130.000 Haltern ca. 1.000.000 Pferde [2], so dass bei überzeugendem Preis-Leistungsverhältnis von Miscanthuseinstreu ein großer Absatzmarkt zur Verfügung stehen würde.

Miscanthushäckselgut kann im Garten- und Landschaftsbau als Mulchmaterial zur Bodenabdeckung verwendet werden [26] (Abbildung 5). In Kulturen wie Kopfsalat, Erdbeeren und Ysop wurde Chinaschilfhäcksel mit einer Länge von 5 bis 30 mm eingesetzt [116]. Für Erosionsschutzzwecke im Weinbau wird aufgefasertes Material in einer Länge von 5 bis 15 cm verwendet. Der Transport in die Weinberge erfolgt als Quaderballen mit etwa 340 kg Masse [27]. Auch im Obstbau, wo Mulchmaterial in Form von Kompost um die Bäume herum unerwünscht hohe Nährstoff- und Salzeinträge bewirken kann, bietet sich Miscanthusmulch an. Wie Untersuchungen zeigten, haben Miscanthushäcksel in einer Schichthöhe von 5 bis 7 cm durchweg positive Wirkungen auf Wachstum und Ertrag sowie auf Bodenfeuchte und -atmung [95]. Die Vorteile von Miscanthus im Vergleich zu Rindenmulch liegen in der insgesamt geringen Mineralstoff- und Schwermetallfracht.

Niedrige Silizium- und Hemizellulosegehalte mit vielen langen Fasern und hohen Zellulosegehalten sind für die Papierherstellung optimal [72]. In China wird zur Papierherstellung vorrangig *Miscanthus sacchariflorus* verwendet, da dieser ebenso wie *Miscanthus x giganteus* über Winter den Großteil seiner Blätter verliert. Mit einer chemischen Methode, genannt „Kraft cooking process“, wird die Biomasse bei mittlerer bis hoher Temperatur in einer Lösung aus Natronlauge und Natriumsulfat zum Ablösen des Lignins gekocht. Miscanthus erweist sich hier als gute Alternative zu Holz.



Abbildung 5: *Miscanthus* eignet sich in Staudenpflanzungen als Mulchmaterial

Als Zuschlagstoff zur Herstellung von organischem Dünger oder als biologisches Kompostiermittel für nasse, organische Abfälle, Klärschlamm oder Gülle wurde *Miscanthus* ebenfalls geprüft, und hinsichtlich seines Aufnahmevermögens von Schwermetallen wie Zink, Kupfer und Arsen aus verseuchten Böden untersucht [122]. Wird *Miscanthus* z. B. als biologisches Kompostiermittel verwendet, dürfte sich hier ein höherer Blattanteil nicht negativ auswirken.

Eine weitere Möglichkeit bietet sich für *Miscanthus* als Ölbinder bei Ölhavarien an. Mit einem Kilogramm C4-Öl-Ex können 2,2 kg Altöl gebunden werden, mit herkömmlichen chemischen Ölbindern nur 0,7 kg. Wenn der Naturstoff so lange beständig bleibt bis das Öl abgebaut ist, verringern sich die Entsorgungskosten im Vergleich zu chemischen Ölbindern erheblich, da der reine Naturstoff nach Gebrauch durch Mikroben umweltgerecht abgebaut werden kann [66].

Ohne eine bestimmte Verwendungsrichtung vorzugeben, eignet sich *Miscanthus* als Kultur für ökologische Flächen [5][27] oder für Pufferzonen zwischen Wald und Flur [65]. Es wurde nachgewiesen, dass sich in *Miscanthus*beständen die Artenvielfalt vor allem bei Vögeln, Säugetieren und Insekten erhöht [75].

2.9.2 Energetische Verwertung

Bei der Verwertung als Festbrennstoff lässt sich aus *Miscanthus* in Großfeuerungsanlagen, Kraft-Wärmekopplungsanlagen und in Biomasseheizungen Wärme und Strom erzeugen, sofern die Anlagen für die Verbrennung von strohähnlichem Material geeignet sind. Der wasserfreie Heizwert

von Miscanthus liegt bei $17,65 \text{ MJ kg}^{-1}$, der entsprechende Brennwert bei $19,14 \text{ MJ kg}^{-1}$ [37]. Dies entspricht einem Heizöläquivalent von 2,4 kg Miscanthus je Liter. Bei einer angenommenen Ertragsleistung von 20 t Trockenmasse je Hektar kann mit Miscanthus ein jährlicher Energieertrag von 353 GJ ha^{-1} erzeugt werden.

Wie in Kapitel 2.11 dargestellt, ist Miscanthus als Halmgutbrennstoff ein ungünstigerer Brennstoff als Holz [39]. Die im Vergleich zu Holz deutlich höheren Gehalte an aschebildenden Elementen führen bei der Verbrennung zu erhöhten NO_x - und SO_x -Emissionen und einem acht- bis zu zehnfach höheren Ascheanfall. Weiterhin kann der niedrige Schmelzpunkt von Miscanthusasche zu Verschlackungen führen. Höhere Cl-Gehalte fördern durch die Bildung von Salzsäure (HCl) die Korrosion und können außerdem zur Entstehung von Dioxinen und Furanen führen [102]. Daher müssen die verwendeten Feuerungsanlagen unbedingt auf die Verbrennung von Miscanthus abgestimmt sein. Entsprechend optimierte Anlagen sind bereits auf dem Markt verfügbar. Von Mischverfeuerung zusammen mit Holzhackschnitzeln wird – im Bereich von Kleinf Feuerungsanlagen – dringend abgeraten.

Wie oben beschrieben führen Inhaltsstoffe wie Stickstoff, Schwefel, Chlor und Schwermetalle, bei der Verbrennung zu unerwünschten, umweltschädlichen Emissionen, weshalb sie in der Biomasse so gering wie möglich konzentriert sein sollten [36]. Aus diesem Grund ist blattarmes Miscanthus-Erntegut für die Verwertung als Brennstoff zu bevorzugen, da die Mineralstoffgehalte in den Blättern höher konzentriert sind als in den Stängeln. Die Verzögerung der Ernte bis nach dem Blattfall führt zwar zu einem Ertragsverlust, gleichzeitig aber beinhaltet Miscanthuserntegut ohne Blätter geringere Konzentrationen an Stickstoff, Kalium, Chlor und Silizium. Dies ist bei der Verbrennung von Vorteil, da z. B. hohe Siliziumgehalte eine Verklumpung der Asche bewirken [72]. Eine Untersuchung vier verschiedenener Miscanthuserkünfte (*M. x giganteus*, *M. sacchariflorus*, *M. sinensis*, *M. robustus*) widerspricht allerdings der Annahme, dass der Siliziumgehalt in den Blättern höher ist als in den Stängeln. Bei allen vier Miscanthusarten betrug der Siliziumgehalt in den Blättern nur 0,5 bis 0,9 % Trockenmasse, während in den Stängeln von *M. sinensis* und *M. robustus* im Durchschnitt 1,7 % und bei *M. x giganteus* sowie *M. sacchariflorus* 3,5 bis 3,7 % Silizium festgestellt wurden [97]. Höhere Blattanteile können bei der Ernte zu vermehrtem Staubanfall führen, da die Blätter nicht so abriebfest sind wie die Stängel [36]. Die durch den Blattfall entstehende Mulchdecke fördert das Bodenleben und die Unkrautunterdrückung. Die dadurch auf dem Feld verbleibenden Nährstoffe wirken sich mindernd auf den Düngbedarf aus. Insgesamt ist die Verzögerung der Beerntung von Miscanthusbeständen bis nach dem Blattfall als qualitätsfördernd für das Erntegut und für die Fläche als ökologisch wertvoll zu betrachten.

Unter dem Begriff lignocellulosehaltige Biomasse (LCB) werden landwirtschaftlich erzeugte Produkte und/oder Abfälle verschiedenster Art zusammengefasst, aus denen Bio-Ethanol, synthetische Kraftstoffe (BtL) oder auch Wasserstoff für Brennstoffzellen erzeugt werden können [87]. Für diese, noch in der Entwicklung befindlichen Verwertungsrichtung, eignet sich potenziell auch Miscanthus. Bei einer Verflüssigung von organischem Material, z. B. mittels Flash-Pyrolyse, ist die gesamte Biomasse von Interesse. Bei diesem Verfahren werden unter Ausschluss von Sauerstoff im Bereich von 300 bis 600 °C die Gerüstsubstanzen Cellulose, Hemicellulose und Lignin in kürzere Molekülketten gespalten. Das dabei entstehende rötlich- bis dunkelbraune Pyrolyseöl hat

einem Wassergehalt von 20 bis 35 % und erreicht etwa die Hälfte des Heizwertes von Heizöl [81]. Pyrolyseöle sind sowohl thermisch als auch chemisch nutzbar.

Für die energetische Verwertung wie für viele Nutzungspfade der stofflichen Verwertung ist bisher noch nicht geklärt, ob die Dauerkultur Miscanthus als nachwachsender Rohstoff qualitativ mit dem landwirtschaftlichen Nebenprodukt Stroh konkurrieren kann.

2.10 Ertragsleistung und -stabilität

Informationen über das Ertragspotenzial von Miscanthus stammen überwiegend aus jüngeren Beständen. Auf eine Etablierungsphase, die je nach der Güte des Standorts, einschließlich dem Anlagejahr, zwei bis drei, bei ungünstigen Bedingungen auch mehr Jahre beträgt, folgt eine Phase mit jährlicher Nutzung. Im zweiten Standjahr können bereits hohe Erträge erreicht werden, an ungünstigen Standorten kann dies allerdings auch bis zu fünf Jahre dauern [18]. Die Lebensdauer eines Bestandes ist nach derzeitigem Wissensstand mit 15 bis 20 Jahren und mehr zu veranschlagen [43][46][102].

Im Folgenden werden Ertragsangaben aus unterschiedlichen Literaturquellen verglichen. Dabei unterscheiden sich die Produktionsfaktoren, wie Bestandesdichte, Düngung, Beregnung, Standortgüte sowie Erntezeitpunkt teilweise erheblich und müssen ggf. direkt in den Quellen nachgeprüft werden. Im Zeitraum 1991 bis 1993 wurden auf 20 bundesweit verteilten Standorten mit einer Dichte von zwei Pflanzen je m^2 mit $4,7 \text{ t TM ha}^{-1}$ die niedrigsten, und mit $17,6 \text{ t TM ha}^{-1}$ die höchsten Standorterträge ermittelt [69][107]. Eine bis 1997 weitergeführte Ertragsbestimmung auf 12 Standorten zeigte ein Ertragsspektrum von $13,2 \text{ t TM ha}^{-1}$ für den kältesten, und $23,0 \text{ t TM ha}^{-1}$ für den wärmsten Standort [25]. Auf 16 innerhalb der EU verteilten Standorten mit 4 Pflanzen je m^2 wurden im 1. Standjahr im Durchschnitt $16,7 \text{ t TM ha}^{-1}$, und im 2. Standjahr $19,2 \text{ t TM ha}^{-1}$ erzielt [46]. In Versuchen der Bayerischen Landesanstalt für Weinbau und Gartenbau wurden bei einer Bestandesdichte von 1 Pflanze je m^2 vom 3. bis zum 8. Standjahr für Miscanthus x giganteus Höchsterträge auf guten Böden von 15 bis 24 t TM ha^{-1} , auf schlechten Standorten von 5 bis 10 t TM ha^{-1} erreicht, während die weiteren getesteten Varietäten in ihrer Ertragsleistung weit hinter M. x giganteus zurück blieben [44]. An zwei Standorten der Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft lagen die Erträge vom dritten bis elften Standjahr bei durchschnittlich über 20 t TM ha^{-1} , wobei die Hauptertragsphase erst im vierten bzw. sechsten Standjahr begann [125].

In Versuchen mit zeitweiliger Beregnung konnte eine deutliche Ertragssteigerung nachgewiesen werden. Der Miscanthus-Trockenmasseertrag eines siebenjährigen Beregnungsversuches lag im Durchschnitt bei $18,2 \text{ t TM ha}^{-1}$, während in zwei Jahren ohne Beregnung nur $10,7 \text{ t TM ha}^{-1}$ erreicht wurden [25]. In einer anderen Untersuchung wurden mit Beregnung ein Durchschnittsertrag von $25,5 \text{ t TM ha}^{-1}$ und Höchsterträge bis $35,1 \text{ t TM ha}^{-1}$ gemessen, während bei späterem Beregnungsverzicht die Erträge in diesem Bestand auf durchschnittlich 18 t TM ha^{-1} zurückgingen.

Die Düngung mit Stickstoff hatte bei Versuchen der Landesforschungsanstalt für Landwirtschaft und Fischerei Mecklenburg-Vorpommern keinen Einfluss auf den Biomasseertrag [10]. Die im Zeitraum 1994 bis 1998 einmalig erzielten Höchsterträge lagen bei $33,8 \text{ t TM ha}^{-1}$ für

Bestandesdichten mit 2 Pflanzen je m². In anderen Versuchen wurde ein Mehrertrag durch eine Stickstoff-Düngung von 60 kg N festgestellt, der umso höher lag, je nährstoffärmer der getestete Standort war [102].

2.11 Physikalische und chemische Eigenschaften

Wird Miscanthus zur energetischen Verwertung als Festbrennstoff eingesetzt, sollten die spezifischen Eigenschaften und Qualitätsparameter dieses Materials beachtet werden (Tabelle 1). Welches Miscanthusmaterial genau untersucht wurde, lässt sich aus den Angaben der verschiedenen Quellen leider nicht nachvollziehen [28][37][63][122]. Die angegebenen Streuungsbereiche werden wahrscheinlich durch verschiedene Varietäten oder Cultivare, Probenahmezeitpunkt, Aufwuchsbedingungen und unterschiedlich alte Bestände verursacht. So nimmt beispielsweise der Gehalt an aschebildenden Stoffen vom ersten bis zum dritten Biomasseaufwuchs stark ab, im Durchschnitt etwa um 3 % in der Trockenmasse, während im gleichen Zeitraum der wasserfreie Brennwert zunimmt und sich zwischen 19,2 und 19,4 MJ kg⁻¹ TM ab der dritten Vegetationsperiode einpendelt [28]. Für Getreide wurden von Weizen, Gerste, Roggen, Triticale und Hafer Durchschnittswerte über alle Fruchtarten berechnet.

Miscanthus liegt beim unteren Heizwertbereich zwischen Getreide und Holz. Im Gehalt aschebildender Stoffe liegt Miscanthus mit deutlich unter 4 % TM beträchtlich unterhalb der Werte von Getreidestroh (5,68 % TM). Die Schwefel- und Chlorgehalte unterliegen bei Miscanthus großen Schwankungen und können damit auch mehrfach höhere Werte annehmen als bei den anderen Brennstoffen.

Tabelle 1: Physikalische Kenngrößen von Miscanthus und anderen Festbrennstoffen, Zusammenfassung verschiedener Quellen [28][37][105][122]

Physikalische Kenngrößen	Material				
	Miscanthus	Getreide- stroh	Getreide- korn	Getreide- Ganzpflanze	Nadel- holz
Oberer Heizwert [MJ kg ⁻¹]	18,58 - 19,14	18,41	18,31	18,51	20,19
Unterer Heizwert [MJ kg ⁻¹]	17,63 - 17,77	17,19	16,97	17,14	18,84
Aschegehalt [% TM]	2,6 - 3,91	5,68	2,29	4,24	0,79
Schmelztemperaturen Asche [°C]:					
Sinterbeginn	861 - 935	931	705	854	1171
Erweichungspunkt	973 - 1270	960	736	886	1389
Halbkugelpunkt	1080 - 1270	1168	797	1043	1521
Fließpunkt	1120 - 1450	1214	851	1080	1530

Tabelle 2: *Elementgehalte von Miscanthus und anderen Materialien, eigene Untersuchungen (TFZ) [37] sowie Zusammenstellung verschiedener Quellen [11][28][102][122]*

Elementgehalte [% TM]	Material				
	Miscanthus	Getreide- stroh	Getreide- korn	Getreide- Ganzpflanze	Nadelholz
N	0,24 - 1,31	0,47	1,88	1,16	0,14
P	0,02 - 0,29	0,09	0,37	0,23	0,03
K	0,15 - 1,74	1,08	0,57	0,87	0,13
Mg	0,03 - 0,11	0,06	0,1	0,1	0,08
S	0,01 - 0,33	0,0737	0,1058	0,137	0,0234
Ca	0,05 - 0,27	0,31	0,06	0,19	0,59
C	41,5 - 49,5	45,08	44,27	45,31	49,97
Na	0,01 - 0,02	0,009	0,0054	0,00117	0,0101
H	5,4 - 7,47	5,88	6,37	6,12	6,33
O	39,3 - 44,8	42,89	45,18	43,17	42,76
Cl	0,01 - 0,5	0,2503	0,0863	0,1807	0,0087

Die Abweichungen in den Angaben zur chemischen Zusammensetzung von Miscanthus (Tabelle 2) sind sowohl innerhalb einer Untersuchungsreihe als auch von Autor zu Autor durchaus beträchtlich, daher können nur Bereiche angegeben werden [11][28][37][102][122].

2.12 Finanzielle Bewertung in Form einer Deckungsbeitragsabschätzung

Eine Deckungsbeitragsberechnung der LWG zeigt den möglichen ökonomischen Vorteil von Miscanthus auf (Tabelle 3). Für die Berechnung wurde eine Nutzungsdauer von 20 Jahren angenommen. Eine erste Ernte nach dem dritten Standjahr sowie die Berücksichtigung einer Bestandesauflösung nach Ablauf der Nutzung ergibt eine gesamte Laufzeit von 21 Jahren bei 18 Ernten. Bei den Etablierungskosten wurde für Rhizommaterial ein Preis von 0,20 €/Stück angesetzt. Für die Bodenvorbereitung wurden 250 €, für die Pflanzung 300 € angenommen. Hinzu kommen jährliche Kosten für Dünger ab dem 4. Standjahr (75 kg N bzw. K) in Höhe von 201 € sowie insgesamt 550 € Pflanzenschutz (120 € im ersten Jahr, 70 € im zweiten Jahr und je 20 € für die Folgejahre). Für Ernte und Transport werden jeweils 300 € veranschlagt, wie auch für eine abschließende Bestandesauflösung. Die Verzinsung des eingesetzten Kapitals wurde mit 4 % berücksichtigt. Die Marktleistung wurde für Trockenmasseerträge von 15 t ha⁻¹ berechnet. Als erzielbare Preise wurden die aktuellen Preise für Waldhackschnitzel herangezogen. Diese betragen im 3. Quartal 2008 bei 35 % Wassergehalt in Bayern durchschnittlich 78,20 €/t, bei 20 % Wassergehalt (dies erreicht Miscanthus problemlos) durchschnittlich 105 € t⁻¹. Enthalten ist auch die Energiepflanzenprämie von 45 € ha⁻¹.

Tabelle 3: Deckungsbeiträge von Miscanthus (Berechnung LWG; Ertrag 15 t/ha, 18 Ernten), Kurzumtriebshölzer (Quelle: [83]; Ertrag 10 t/ha, 5 Ernten) und ausgewählten Feldfrüchten (Quelle: [3]; Winterweizen Ertrag 6,6 t/ha, Zuckerrüben Ertrag 68,9 t/ha)

Miscanthus	Miscanthus	Miscanthus	Weide/Pappel ohne Trocknung 45 % TS Marktleistung 700 €/ha	Weide/Pappel Feldrand- lagerung 70 % TS Marktleistung 700 €/ha	Winterweizen Markt- leistung (Jahr 2009) 1413 €/ha	Zuckerrübe Marktleis- tung (Jahr 2009) 2722 €/ha
266 €/ha	397 €/ha	722 €/ha	257 €/ha	96 €/ha	505 €/ha	1315 €/ha

3 Standorteigenschaften und Produktivität (LWG)

3.1 Zielsetzung

Im Zeitraum von 1988 bis 2005 hat sich die Bayerische Landesanstalt für Weinbau und Gartenbau (LWG), Abteilung Landespflege, intensiv mit *Miscanthus* befasst. Gemeinsame Forschungsprojekte wurden mit der früheren Bayerischen Landesanstalt für Bodenkultur und Pflanzenbau (LBP), in mehreren EG-Forschungsvorhaben, mit der Firma TINPLANT Biotechnik und Pflanzenvermehrung GmbH sowie mit dem Technologie- und Förderzentrum im Kompetenzzentrum für Nachwachsende Rohstoffe (TFZ) durchgeführt.

Über die Standortansprüche von *Miscanthus* in Deutschland war Ende der 1980er Jahre noch nicht viel bekannt. Es wurden vergleichende Untersuchungen über Sorteneignung sowie verschiedene N-Düngestufen an 12 Standorten Bayerns angelegt, von denen einige hier dargestellt und diskutiert werden. Ziel war es, verlässliche Daten über Düngewirkung und Ertragsstabilität der angebauten Sorten und Typen zu bekommen.

3.2 Material und Methoden

Die Bayerische Landesanstalt für Weinbau und Gartenbau betreute von den 12 bayerischen Standorten Güntersleben (Kläranlage und Volkenschlag) sowie Filke in der Rhön, Wörnitz (80 km südlich von Würzburg) und Großostheim bei Aschaffenburg. Seit 2004 übernahm das Technologie- und Förderzentrum in Straubing die Weiterführung der Versuchsflächen in Güntersleben (Kläranlage), die hier zum Teil in die Ergebnisdarstellung mit einfließen, aber ausführlich im nächsten Abschnitt (Kapitel 4 Langzeiterhebungen an bestehenden *Miscanthus*-beständen (TFZ)) behandelt werden. Die Bestandespflege dieser Flächen erfolgte dabei weiterhin durch die LWG. Tabelle 4 gibt einen Überblick über die LWG-Standorte und deren Kenndaten.

Des Weiteren werden die von der früheren Bayerischen Landesanstalt für Bodenkultur und Pflanzenbau betreuten Standorte Schlüterhof bei Freising (Ackerzahl 52) und Schlosshaus bei Regensburg (Ackerzahl 72) mit aufgeführt.

An den Standorten Kläranlage und Volkenschlag in Güntersleben wurden jeweils die Stickstoff-Düngestufen 50 kg, 100 kg, 150 kg und 250 kg ha⁻¹ a⁻¹ für die Ertragsleistung von *Miscanthus x giganteus* im Vergleich zu einer Kontrolle ohne N-Düngung getestet. Weiterhin wurden an Beständen aus den Jahren 1988 und 1989 Arten- und Sortenvergleiche sowie Versuche zu Pflanzabständen durchgeführt. Neben *Miscanthus x giganteus* wurden verschiedene *Miscanthus sinensis*-Sorten sowie andere Pflanzenarten getestet. Die untersuchten Pflanzabstände lagen bei 1, 2 bzw. 3 Pflanzen/m². Diese Versuche werden im Bericht nicht näher beschrieben, Ergebnisteile daraus sind in Tabelle 5 mit berücksichtigt.

In Filke, Wörnitz, Großostheim und Schlosshaus fand analog zu Puch und Freising Moyacker ein Sortenvergleich mit *Miscanthus x giganteus* mit *M. sinensis* 'Goliath' und *M. sinensis* 'Gracillimus' statt. Eine einheitliche N-Düngung der Sortenversuche bestand aus 75 kg N ha⁻¹ a⁻¹. Das Sortiment am Schlüterhof setzte sich in Anlehnung an die Versuche an der Kläranlage in

Güntersleben aus den Varianten *M. x giganteus*, *M. sinensis* 'Goliath', *M. sinensis* 'Große Fontäne', *M. sinensis* 'Silberfeder' und verschiedenen Sämlingen zusammen.

Tabelle 4: Standortverhältnisse der LWG-Versuchsflächen

Standort	Bodenzahl	Bodenart	Jahressumme Niederschlag langjähriges Mittel	Mittlere Jahrestemperatur
			[mm]	[°C]
Güntersleben/ Kläranlage	65	tiefgründiger schluffiger Lehm; Lössboden	606	9,1
Güntersleben/ Volkenschlag	30	flachgründiger toniger Lehm; Rendzina	606	9,1
Großostheim	66	tiefgründiger lehmig sandiger Schluff	650	8,8
Wörnitz	34	toniger Lehm	700	7,4
Filke/Rhön	35	lehmiger Sand	630	7,8



Abbildung 6: Parzellenbearbeitung zur Erfassung der Ertragsergebnisse durch die frühere Bayerische Landesanstalt für Bodenkultur und Pflanzenbau

3.3 Ergebnisse und Diskussion

3.3.1 Sortenvergleiche in Abhängigkeit des Standorts

Um hohe Erträge unter optimalen Bedingungen zu erzielen, ist die richtige Auswahl des Standortes für den Anbau von *Miscanthus x giganteus* eine grundlegende Voraussetzung. Abbildung 7 zeigt die Entwicklung der Trockenmasseerträge von *Miscanthus x giganteus* seit dem Pflanzjahr 1989 an zwei sehr unterschiedlichen Standorten („Kläranlage“ und „Volkenschlag“, Bodenzahl 65 bzw. 30), jeweils ohne Düngung.

Die Unterschiede im Ertrag werden auf den ersten Blick deutlich. Am Standort „Kläranlage“ wurden Erträge von 20 t ha^{-1} überschritten, während am Standort „Volkenschlag“ im gesamten Beobachtungsraum keine 8 t ha^{-1} hervorbrachte (Abbildung 7 - Abbildung 9). Das bis 2002 vorläufige Maximum am Standort „Kläranlage“ wurde mit über 28 t ha^{-1} im 12. Anbaujahr erzielt. Der deutliche Ertragseinbruch am Standort „Kläranlage“ in den Standjahren 1994 und 1995 beruht auf einer Umpflanzung des Bestandes im Februar 1994.

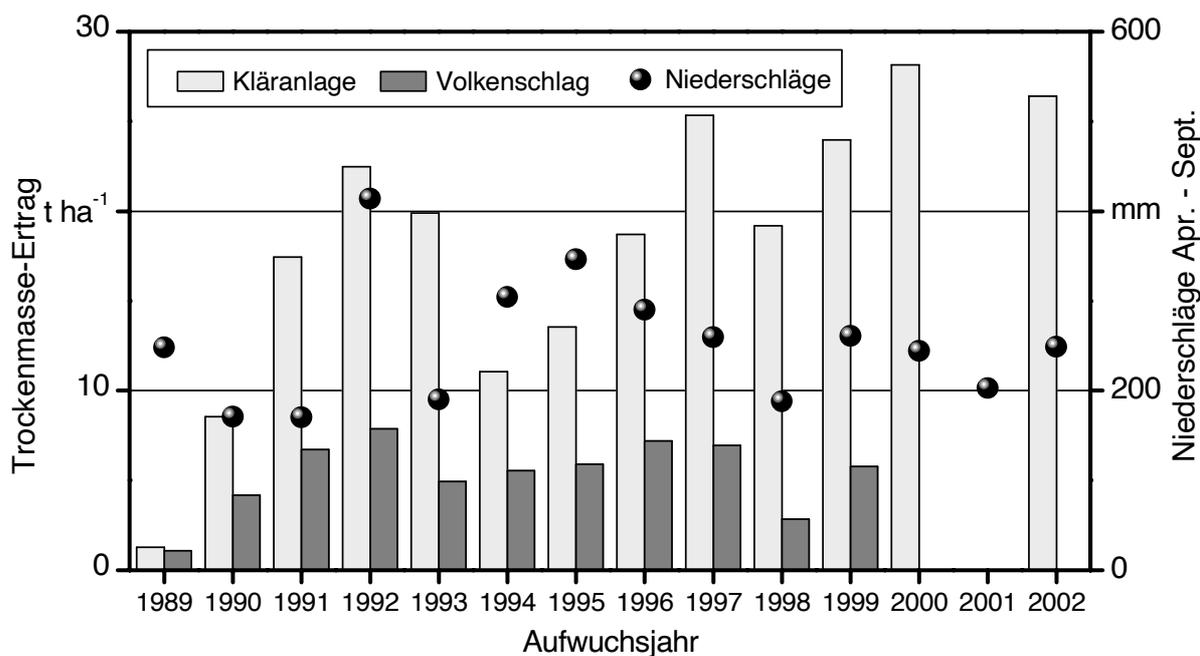


Abbildung 7: Trockenmasseerträge von *Miscanthus x giganteus* an den Standorten Kläranlage und Volkenschlag in Güntersleben ohne zusätzliche N-Düngung



Abbildung 8: *Miscanthus x giganteus* am ertragsschwachen Standort „Volkenschlag“



Abbildung 9: *Miscanthus x giganteus* am ertragreichen Standort „Kläranlage“

Auch die Niederschläge während der Vegetationsperiode wirken sich deutlich auf den Ertrag aus. Vor allem die niederschlagsarmen Monate Juni bis August im Jahr 1998 hatten einen deutlichen Ertragsrückgang zur Folge. Im Vergleich zum langjährigen Mittel (1961 bis 1990) lag die Niederschlagssumme in diesem Zeitraum mit 84,4 mm bei nur 46 %. Insgesamt wird deutlich, dass ein Unterschreiten von ca. 250 mm Niederschlag im Zeitraum April bis August (ca. 85 % des langjährigen Mittels) zu einem Ertragsrückgang bei älteren Beständen führt (Abbildung 7). Dies konnte an beiden Standorten in Güntersleben ab dem fünften Standjahr in den Jahren 1993 und 1998 festgestellt werden. Der relativ hohe Ertrag im niederschlagsarmen Jahr 1993 beruht auf einer verfrühten Ernte im Dezember, bevor der Bestand im darauffolgenden Frühjahr umgepflanzt wurde. Damit dieser Wert mit den sonstigen Ernteerträgen vergleichbar ist, müsste der errechnete Ertrag um ca. 20 % bis 30 % nach unten korrigiert werden, um den Blattfall über Winter und einhergehenden Ernteverlust zu simulieren.

Die grundsätzliche Abhängigkeit von der Bodenzahl bestätigt ein Versuch in Zusammenarbeit mit der LBP, der im Jahr 1990 angelegt wurde. So erzielte *Miscanthus x giganteus* an den Standorten „Filke“ (Bodenzahl 35) und „Wörnitz“ (Bodenzahl 34) insgesamt einen Trockenmasseertrag von weniger als 6 t ha^{-1} . Am Standort „Großostheim“ (Bodenzahl 66) wurden Trockenmasseerträge von über 10 t ha^{-1} bis knapp 30 t ha^{-1} erreicht. Unabhängig von der Bodenzahl wirken sich schlecht durchlüftete Böden und Regionen mit kurzer Vegetationszeit negativ auf die Ertragsleistung aus. Die höchsten Erträge lassen sich auf gut durchlüfteten Böden mit hoher Bodenzahl erreichen. Mittel- und tiefgründige Braun- oder Parabraunerden mit hohem Humusanteil sind besonders günstig. Die Niederschlagssumme sollte in den Monaten April bis August 250 mm nicht unterschreiten und möglichst gleichmäßig verteilt sein. Eine hohe Wasserkapazität des Bodens wirkt sich ebenfalls förderlich aus. Exponierte Lagen mit der Gefahr von starken Frösten, vor allem ohne schützende Schneedecke, führen zu hohen Ausfällen und damit geringen Erträgen.

Generell erzielt *Miscanthus x giganteus* von den untersuchten *Miscanthus*-Varietäten die höchsten Erträge. Dies bestätigt sich auch im Sortenvergleich, der 1988 am Standort „Kläranlage“ angelegt wurde. Schon im dritten Jahr nach der Pflanzung (Ernte 1992) wird *Miscanthus sinensis* 'Goliath' mit $15,3 \text{ t ha}^{-1}$ um rund eine halbe Tonne Trockenmasse übertroffen. Im Beobachtungszeitraum 1990 bis 1996 erreicht *Miscanthus x giganteus* ein Maximum von $19,7 \text{ t ha}^{-1}$ (Ernte 1993). *Miscanthus sinensis* 'Goliath' liegt zum gleichen Zeitpunkt bei $15,4 \text{ t ha}^{-1}$, zeichnet sich jedoch durch eine raschere Zunahme an Trockenmasse in den ersten Jahren aus. Am Ende des Beobachtungszeitraumes (Ernte 1996) liegen alle getesteten *Miscanthus sinensis*-Typen in einem Bereich von 10 t ha^{-1} . Ähnliche Ergebnisse wurden am Standort Großostheim erzielt, wo *Miscanthus sinensis* 'Goliath' mit knapp 19 t ha^{-1} im sechsten Jahr seinen höchsten Ertrag erreichte und sich danach auf ein Niveau um 15 t ha^{-1} einpendelte (Abbildung 10).

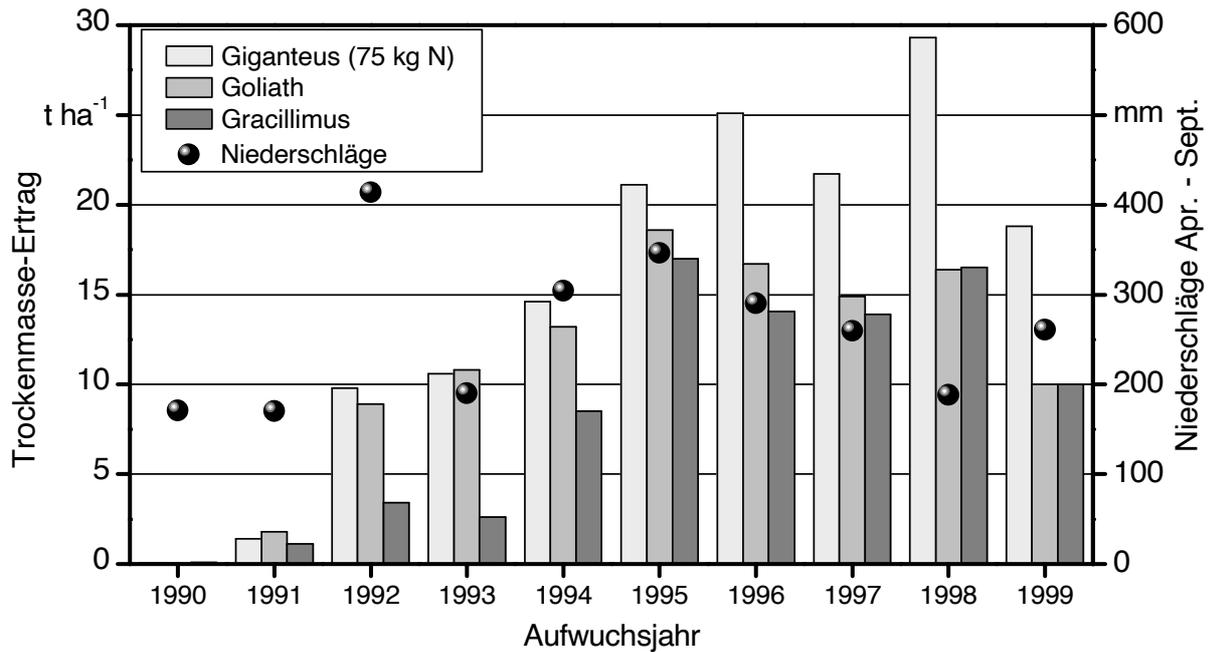


Abbildung 10: Trockenmasseerträge von *Miscanthus x giganteus*, *M. sinensis* 'Goliath' und *M. sinensis* 'Gracillimus' in Großostheim

An klimatisch ungünstigen Standorten jedoch zeigen sich die *Miscanthus sinensis* Sorten im Vorteil. Nicht nur erheblich höhere Überwinterungsraten, sondern auch bessere Erträge konnte z. B. die Sorte 'Goliath' gegenüber *Miscanthus x giganteus* an einigen Standorten erzielen. So erreichte *Miscanthus x giganteus* am LBP-Standort „Schlüterhof“ (Bodenzahl 52, Kalkschotterboden) einen Trockenmasseertrag von $11,5 \text{ t ha}^{-1}$ im vierten Standjahr, während *Miscanthus sinensis* 'Goliath' dort einen Ertrag von rund 18 t ha^{-1} erzielte. Am LBP-Standort „Schlosshaus“ (Bodenzahl 72) lag der Trockenmasseertrag von *Miscanthus x giganteus* aufgrund hoher Winterausfälle von ca. 80 % durch Frosteinwirkung bei weit unter 1 t ha^{-1} im vierten Standjahr. *Miscanthus sinensis* 'Goliath' dagegen erzielte bei einer Winterausfallrate von knapp 40 % einen Ertrag von ca. 8 t ha^{-1} . Ein ähnliches Bild ergibt sich auch am Standort „Filke“ (Rhön), wo knapp 12 t ha^{-1} erreicht wurden (Abbildung 11).

Bei dichterem Pflanzung ab 2 Pflanzen m^{-2} konnte in einem weiteren Versuch am Standort Kläranlage auch mit *M. sinensis* 'Goliath' die Grenze von 20 t TM überschritten werden.

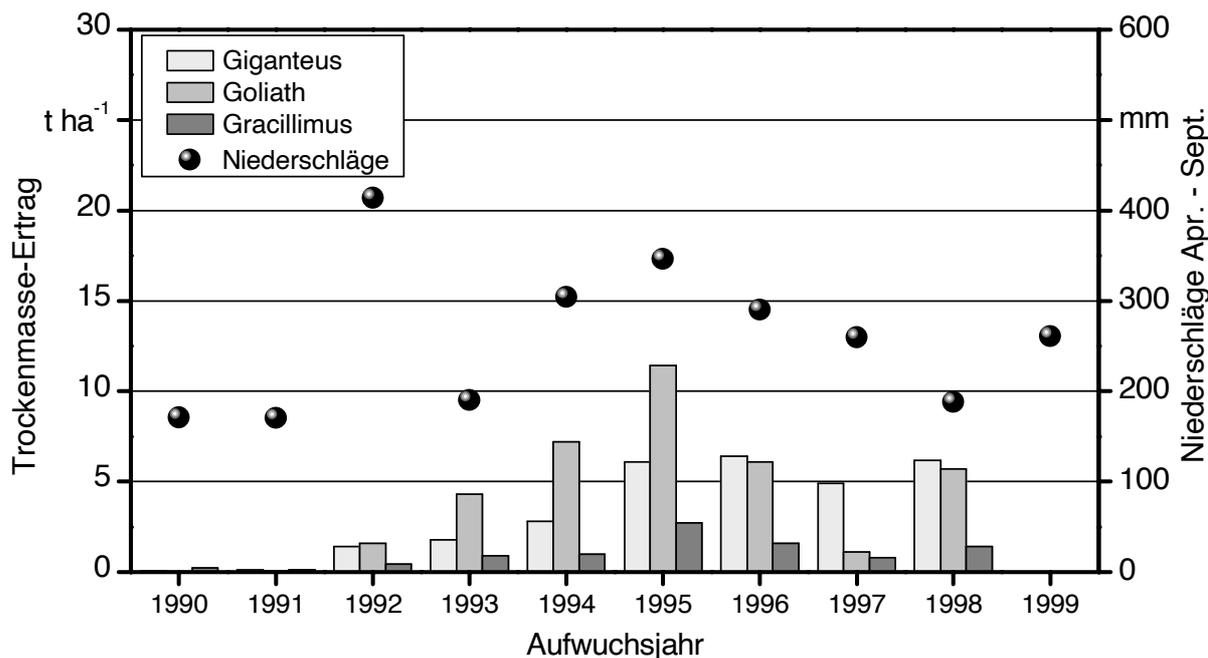


Abbildung 11: Trockenmasseerträge von *Miscanthus x giganteus*, *M. sinensis* 'Goliath' und *M. sinensis* 'Gracillimus' in Filke (Rhön)

3.3.2 Düngeeffekte bei *Miscanthus x giganteus*

Eindeutige Düngeeffekte konnten in den Versuchsprogrammen der LWG auch auf unterschiedlichen Standorten nicht nachgewiesen werden. So wurde der Einfluss einer Stickstoffdüngung u. a. an den Standorten „Kläranlage“ und „Volkenschlag“ über mehrere Jahre hinweg untersucht. Der Standort „Volkenschlag“ wird durch einen Boden mit niedriger Produktivität (toniger Lehm, Bodenzahl 30) charakterisiert, der zusätzlich eine geringere Wasserverfügbarkeit aufweist.

Ab dem Jahr 1994 wurde am Standort „Volkenschlag“ (Abbildung 12) bei 50 kg N ha^{-1} , 100 kg N ha^{-1} und 150 kg N ha^{-1} ein deutlich höherer Ertrag beobachtet. Zwischen diesen Düngestufen zeigten sich jedoch keine Düngeeffekte. Hingegen 250 kg N ha^{-1} hatten eher eine ertragsreduzierende Wirkung. Am Standort „Kläranlage“ zeigte sich in keinem Jahr ein Düngeeffekt (siehe Abbildung 31 im Kapitel 4.3.4).

Auch am Standort Großostheim zeigte sich ein ähnliches Bild (Abbildung 13). Dieser Standort zeichnet sich ebenfalls durch eine hohe Produktivität aus. Auch hier sind die Niederschläge eher der begrenzende Faktor als die Nährstoffversorgung im Boden. Bei höherem Niederschlagsangebot und geringerem N-Nachlieferungsvermögen erscheint jedoch eine N-Düngung durchaus eine Ertragssteigerung zu bewirken.

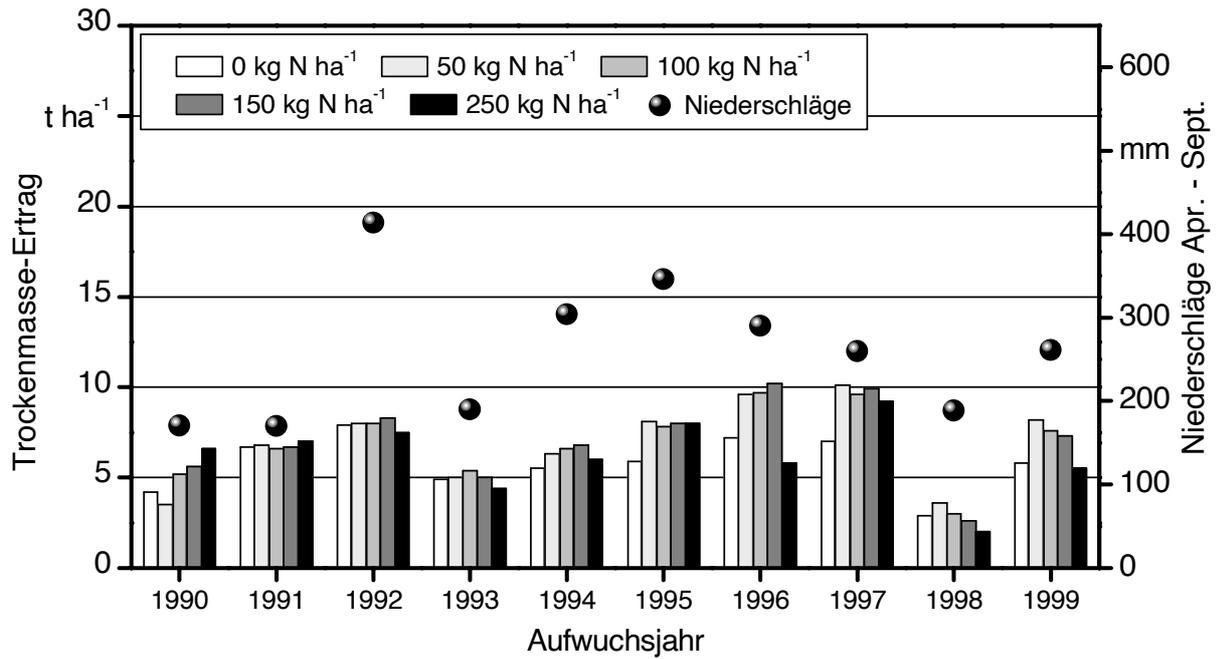


Abbildung 12: Trockenmasseerträge von *Miscanthus x giganteus* in Abhängigkeit unterschiedlichen N-Düngestufen in Güntersleben (Volkenschlag)

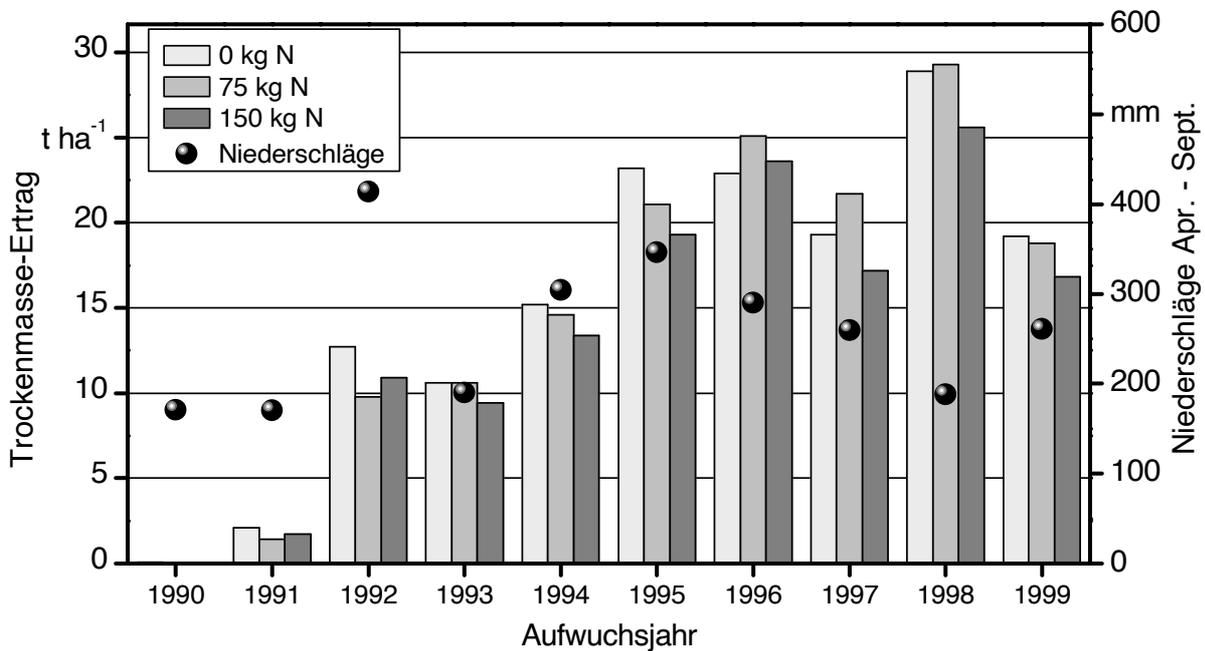


Abbildung 13: Trockenmasseerträge von *Miscanthus x giganteus* in Abhängigkeit unterschiedlichen N-Düngestufen in Großostheim

In Tabelle 5 sind die Spannen der Trockenmasseerträge verschiedener Miscanthustypen für günstige bzw. ungünstige Standorte zusammengefasst. Hierbei wird deutlich, dass *Miscanthus x giganteus* unter günstigen Bedingungen der ertragreichste Cultivar ist. Allerdings können durch

höhere Pflanzdichten auch bei anderen Sorten höhere Erträge erzielt werden, die mit *Miscanthus x giganteus* auf einem Niveau liegen. Auf ungünstigen Standorten können Sorten wie *Miscanthus sinensis* 'Goliath' *Miscanthus x giganteus* sogar übertreffen.

Tabelle 5: Ertragsspannen verschiedener Miscanthus-Typen an ertragreichen und -schwachen Versuchsstandorten

Miscanthus-Typ	Ertragreiche Standorte	Ertragsschwache Standorte
	[t TM ha ⁻¹]	
<i>Miscanthus x giganteus</i>	15 - 29	bis 10
<i>Miscanthus sinensis</i> 'Goliath'	10 - 19	bis 11
<i>Miscanthus sinensis</i> 'Goliath' Pflanzdichte 2 Pfl/m ²	13 - 22	keine Untersuchungen
<i>Miscanthus sinensis</i> 'Gracillimus'	6 - 17	2 - 3
<i>Miscanthus sinensis</i> 'Große Fontäne'	10 - 15	3 - 4

3.4 Schlussfolgerungen und Empfehlungen für die Praxis

Das Ergebnis der Sortenvergleiche zeigt, welches Potential auch in sogenannten „Sinensis-Typen“ steckt, vor allem für Standorte, die für den Anbau von *Miscanthus x giganteus* nicht geeignet sind.

Weitere Vorteile dieser Typen liegen im niedrigeren Feuchtegehalt des Erntematerials. Oft werden bereits im Februar Trockenmassegehalte von 80 % und mehr erreicht, die bei *Miscanthus x giganteus* überhaupt nicht oder erst ab Mitte März gemessen werden können. Für die Art der Weiterverwertung, z. B. als Brennstoff sind niedrige Feuchtegehalte bedeutsam, um auf eine Nach-trocknung des Erntegutes verzichten zu können. Auch bei den Selektionsversuchen zur Auslese neuer ertragreicher Typen wurden hier erfolgversprechende Ergebnisse erzielt.

Die Notwendigkeit einer Düngergabe hängt stark von den jeweiligen Standortbedingungen ab. Bei gutem N-Nachlieferungsvermögen oder geringer Wasserverfügbarkeit ist eine Düngung nicht angezeigt. Lediglich bei ausreichender Wasserversorgung und geringem Nachlieferungsvermögen sollte mit max. 5 kg bis 8 kg N bzw. K pro Tonne geernteter Trockenmasse gedüngt werden, um den Nährstoffentzug auszugleichen. Bodenuntersuchungen, die Aufschluss über den Nitratgehalt und organisch gebundenen Stickstoff geben, sind daher unumgänglich. Der Bedarf an Magnesium und Phosphat ist zu vernachlässigen [51].

4 Langzeiterhebungen an bestehenden Miscanthusbeständen (TFZ)

4.1 Zielsetzung

Aufgrund seiner Schnellwüchsigkeit und der Eigenschaft, große Mengen Biomasse zu produzieren, wurde Miscanthus bereits in den 1980er Jahren als nachwachsender Rohstoff untersucht [102]. Seine Nährstoffansprüche sind niedriger als die von einjährigen oder anderen mehrjährigen Kulturen und der Einsatz von Pflanzenschutzmitteln beschränkt sich auf die Unkrautkontrolle in den ersten ein bis zwei Jahren [16][73]. Zu Beginn der Miscanthusforschung fanden sich nur spärliche Angaben über Ertragsleistungen und Wuchsverhalten von Miscanthus in Europa und diese meist aus noch recht jungen Beständen (max. vier Jahre) [77][115]. Nach der Pflanzung benötigt das Chinaschilf eine Etablierungsphase von drei bis fünf Jahren, bis stabile, hohe Erträge erreicht werden [31][55]. Da die Nutzungsdauer von Miscanthusbeständen auf 10 bis 20 Jahre geschätzt wird [102], lassen die früheren Ergebnisse über die Anbauansprüche von Miscanthus, die nur auf sehr kurzzeitigen Beobachtungen basieren, allenfalls Annahmen über Langzeitansprüche der Kultur zu. Zudem wird eine sehr große Spannweite an Erträgen (8 bis 44 t ha⁻¹) für den mitteleuropäischen Raum angegeben [110].

Ziel der vorliegenden Untersuchungen ist es daher, anhand langjähriger Erfassung pflanzenbaulicher Parameter wie z. B. Wuchshöhe, Trockenmasseertrag, Nährstoffgehalt, N_{min}-Gehalt im Boden, etc., zuverlässige Aussagen über Ertragsstabilität und Nährstoffkreisläufe zu treffen. Mittels der Ergebnisse dreier Standorte wird die Anbaueignung verschiedener Miscanthussorten in unterschiedlichen Regionen Bayerns abgeleitet. Aus diesen Erkenntnissen heraus gilt es, Praxisempfehlungen für bayerische Landwirte zum Miscanthusanbau und dessen Verwendung zu erarbeiten.

4.2 Material und Methoden

4.2.1 Standortbeschreibung und Versuchsaufbau

An drei bayerischen Standorten wurden langjährige Erhebungen zu Miscanthus durchgeführt, mit zum Teil unterschiedlichen Sorten und Düngestufen. In Abbildung 14 sind die drei Versuchstandorte in ihrer geographischen Lage dargestellt.



Abbildung 14: Lage der drei bayerischen Versuchsstandorte Freising, Puch und Güntersleben

Bei den Versuchsflächen in Weihenstephan, Landkreis Freising, und Puch, Landkreis Fürstentumbruck, handelt es sich um Münchner Schotter- und Moorgebiete mit einem langjährigen mittleren Jahresniederschlag von 845 mm und 866 mm, sowie Jahresdurchschnittstemperaturen (1995 bis 2008) von je 10,2 °C. Die Versuchsfläche in Güntersleben/Veitshöchheim (Kläranlage), Landkreis Würzburg, liegt im Fränkischen Gäu mit einem langjährigen Niederschlagsmittel von 600 mm und einer langjährigen Jahresdurchschnittstemperatur von 10,4 °C. Weitere Kenngrößen der Böden sind in Tabelle 6 dargestellt.

In Freising und Puch beträgt der Pflanzabstand 0,9 m x 0,9 m bei 60 Pflanzen je ca. 50 m² großer Parzelle in je 3 Wiederholungen, während sich in Güntersleben die Pflanzendichte auf 102 Pflanzen je ca. 90 m² großen Parzellen bei gleichem Pflanzabstand beläuft, bei nur 2 Wiederholungen je Variante. Abbildung 16 gibt einen Überblick über die Versuchsflächen der drei Standorte.

Miscanthus x giganteus, *Miscanthus sinensis* ‚Goliath‘ und *Miscanthus sinensis* ‚Gracillimus‘ wurden in Freising und Puch angebaut, während sich in Güntersleben die Beobachtungen auf *Miscanthus x giganteus* beschränken (Abbildung 15). In Freising kommen drei N-Düngestufen (0 kg N, 75 kg N und 150 kg N) bei *M. x giganteus* hinzu und in Güntersleben 5 N-Düngestufen (0 kg N, 50 kg N, 100 kg N, 150 kg N und 250 kg N).

Insgesamt muss angemerkt werden, dass die Versuchsanlagen aufgrund der unterschiedlichen institutionellen Vorgeschichte nicht aufeinander abgestimmt sind, was bei vergleichenden Aussagen zu berücksichtigen ist.

Tabelle 6: Bodentypen, Ackerzahl, pH und Nährstoffgehalte der *Miscanthus*-Versuchsflächen in Freising, Puch und Güntersleben, erhoben 1995

Standorte	Bodentyp	Ackerzahl	pH	P	K	Mg	N _{min}	N _{min}
							Frühjahr	Herbst
							[kg ha ⁻¹]	
Freising	Braunerde	70	7,1	18,3	15,8	8,4	49	48
Puch	Parabraunerde	64	5,6	2,6	11,7	3,6	38	n.e.
Güntersleben	Braunerde	65	7,2	7,8	24,2	4,2	154	50

Standorte	Freising			Puch			Güntersleben
Pflanzjahr	1990			1990			1989
Sorten	'Giganteus'	'Goliath'	'Gracillimus'	'Giganteus'	'Goliath'	'Gracillimus'	'Giganteus'
N-Stufen [kg ha ⁻¹]	0						0
	75	75	75	75	75	75	50
	150						100
							150
							250
Einheitliche Düngung im Frühjahr mit 10 kg P ₂ O ₅ ha ⁻¹ und 100 kg K ₂ O ha ⁻¹							

Abbildung 15: Schematischer Versuchsaufbau der Langzeiterhebungen

Nach der jährlichen Entnahme von Bodenproben an allen Standorten wird im Frühjahr kurz vor oder zum Wiederaustrieb einheitlich mit 10 kg P₂O₅ ha⁻¹ und 100 kg K₂O ha⁻¹ gedüngt. Nach der Ernte im Frühjahr erfolgt ein Abschlegeln der Stoppeln und Mulchen der Parzellen, während die Wege und der Umgriff zur Unkrautkontrolle ausgemäht oder abgespritzt werden.



Abbildung 16: Versuchsflächen mit *Miscanthus x giganteus* sowie 2 *Miscanthus sinensis*-Sorten in Freising (oben) und Puch (Mitte), sowie *M. x giganteus* in Güntersleben (unten) mit unterschiedlichen N-Düngestufen

4.2.2 Datenerhebungen und Analysen

Die Versuchsflächen in Freising und Puch wurden ursprünglich von der Bayerischen Landesanstalt für Bodenkultur und Pflanzenbau (LBP), Freising, und die Beobachtungsflächen in Güntersleben von der Bayerischen Landesanstalt für Weinbau und Gartenbau (LWG), Veitshöchheim, unabhängig voneinander angelegt. Ertragsfeststellungen und Bonituren über Wuchshöhen werden am Standort Güntersleben seit 1989 und in Freising und Puch seit 1990 durchgängig, doch teilweise in unterschiedlichen Ausprägungen, erhoben. Dies führt zu einigen Lücken in der Datensammlung.

Die von der Abteilung Agrarmeteorologie der Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL) täglich erfassten Wetterdaten (Temperatur und Niederschläge) der Wetterstationen in Freising (Station Nr. 008), Puch (Station Nr. 005) sowie in Veitshöchheim (Station Nr. 096), welche jeweils in Nähe der Versuchsflächen liegen, werden zu Jahres- und Halbjahresmittelwerten (April bis September) zusammengefasst. Wuchshöhen werden in einem 4-wöchentlichen Rhythmus von Mai bis Oktober/November an 6 Messpunkten je Parzelle gemessen.

Von Anfang März bis Ende April/Anfang Mai erfolgt die Ernte mit einem Parzellen-Maishäcksler in ca. 10 cm Schnitthöhe und auf 90 cm Schnittbreite, frühestens bei einem Trockensubstanzgehalt über 80 % und spätestens wenn neue Miscanthustriebe aus dem Boden spitzen. Durch eine automatische Wiegevorrichtung mit Probennehmer werden direkt der Frischmasseertrag je Hektar erfasst und eine Probe von 500 g entnommen. Anhand dieser Probe werden in Freising und Puch der Trockensubstanzgehalt sowie Pflanzeninhaltsstoffe und in einigen Beispieljahren der Anteil Blatt/Stängel ermittelt. Gehalte an Kohlenstoff (C), Stickstoff (N), Phosphor (P), Kalium (K), Schwefel (S), Magnesium (Mg) und Calcium (Ca) werden mittels Photometrie oder Atomspektroskopie gemessen.

An den im Frühjahr entnommenen Bodenproben aller Standorte werden Standardmessungen des pH-Werts und der P-, K- und Mg-Gehalte vorgenommen. Messungen des mineralischen Stickstoffs (N_{\min}) finden im Frühjahr und Herbst in drei verschiedenen Bodentiefen (0-30 cm, 31-60 cm und 61-90 cm) statt.

4.2.3 Allgemeine Erläuterungen zur Skalierung der Zeitachsen in Abbildungen und Tabellen dieser Langzeitstudie

Wie in Kapitel 2.7.1 schon beschrieben, wird Miscanthus im Allgemeinen im Frühjahr geerntet, wobei der Aufwuchs im Vorjahr stattfindet und im Winter nur noch eine Abreife- bzw. Abtrocknungsphase vorliegt. Somit wird die Ernte durch die Witterung des Vorjahres, vor allem im Zeitraum von April bis Ende September, beeinflusst. Um in den Grafiken einen direkten Vergleich von Niederschlägen und den dadurch beeinflussten Ertrag zu bekommen, sind die Erträge mit der Jahresangabe des Aufwuchsjahres dargestellt; die z. B. im Frühjahr 2008 geerntete Menge wurde also dem Aufwuchsjahr 2007 zugeordnet.

Die Jahresangaben bei Wuchshöhen, Inhaltsstoffanalysen und Bodenuntersuchungen stimmen mit den Erfassungsjahren überein.

4.3 Ergebnisse und Diskussion

4.3.1 Wetter- und Bodendaten der drei Versuchsstandorte

Soweit vorhanden, sind Ergebnisse der Bodenuntersuchungen von 1991 bis 2006 für alle drei Versuchsstandorte in Tabelle 7 dargestellt. Während der Boden-pH in Freising und Güntersleben im neutralen Bereich um 7 liegt, bewegt er sich in Puch bis auf eine Ausnahme im leicht sauren Milieu zwischen 5,4 und 5,7. Die Phosphor- und Magnesiumgehalte im Boden in Freising sind deutlich höher als an den beiden anderen Standorten.

Tabelle 7: Bodengehalte an P, K und Mg sowie pH gemessen in langjährigen *Miscanthus x giganteus*-Beständen in Freising, Puch und Güntersleben

Jahr	Freising*				Puch				Güntersleben			
	pH	P	K	Mg	pH	P	K	Mg	pH	P	K	Mg
	[mg 100g ⁻¹ Boden]				[mg 100g ⁻¹ Boden]				[mg 100g ⁻¹ Boden]			
1991	7,2	13	16	9,6	n.e.							
1992	7,4	10	15	8,4	5,7	7,4	18	3,6	n.e.			
1993	7,3	12	13	8,8	5,4	3,0	13	3,6				
1994	7,1	14	15	9,0	5,6	3,5	12	3,0				
1995	7,1	18	16	8,4	5,6	2,6	12	3,6	7,2	7,8	24	4,2
1996	6,9	16	12	9,4	5,5	4,3	11	4,2	7,2	10	31	5,4
1997	7,0	10	15	8,4	5,6	4,3	17	3,6	7,3	7,4	24	3,6
1998	7,0	12	13	8,4	5,6	4,3	17	3,6				
1999	6,9	16	17	9,0	5,7	5,7	21	4,2				
2000	7,1	13	18	11	5,6	3,0	17	3,6				
2001-2002	n.e.				n.e.				n.e.			
2003	7,0	12	11	9,0	5,6	4,8	21	4,8				
2004	7,0	15	14	8,8	5,6	4,8	21	4,8				
2005	6,8	13	12	9,0	5,0	4,3	16	4,2	7,1	6,5	23	4,2
2006	6,9	10	11	8,2	5,6	4,8	16	4,2	7,1	3,0	18	4,2

* Gehalte an P, K, und Mg in Freising stellen Mittelwerte über alle drei Düngestufen dar

Während die P-Gehalte in Freising durchgängig zwischen 10 und 18 mg 100 g⁻¹ Boden schwanken, erreichen sie in Puch Gehalte von 2,6 bis 7,4 mg 100 g⁻¹ Boden und in Güntersleben 3,0 bis 10 mg 100 g⁻¹ Boden. Die Magnesiumgehalte liegen zwischen 8 und 10 mg 100 g⁻¹ Boden in Freising und sind somit doppelt so hoch wie an den anderen Standorten. Die Kaliumgehalte in

Güntersleben übersteigen jene in Freising und Puch in einzelnen Jahren mit bis zu $10 \text{ mg } 100 \text{ g}^{-1}$ Boden.

Alle Standorte ähneln sich in den Jahresdurchschnittstemperaturen, die um die $10 \text{ }^\circ\text{C}$ liegen, jedoch gibt es leichte Unterschiede in den Halbjahrestemperaturen (April bis September). Mit Ausnahme der kühlen Jahre 1996 und 1997 weist Freising die höchsten Temperaturen auf, während die niedrigeren Temperaturen früher eher in Puch vorherrschten und in den letzten Jahren in Güntersleben (Abbildung 17).

Sind die Unterschiede der Temperaturen eher geringfügig, so unterscheiden sich die Standorte doch deutlich in den jährlichen und halbjährlichen Niederschlagsmengen. Puch ist hierbei der Standort mit den höchsten Niederschlägen, gefolgt von Freising und Güntersleben, letzterer mit erheblich geringeren Niederschlagsmengen (Abbildung 17). Im Mittel über den gesamten Versuchszeitraum (1995 bis 2007) fielen jährlich 868 mm Niederschlag in Puch, 818 mm in Freising und nur 581 mm in Güntersleben. Insgesamt fällt an allen Standorten 2002 als sehr nasses und 2003 als sehr trockenes Jahr auf.

Freising erscheint als der günstigste Standort mit leicht höheren Temperaturen in der Hauptwachstumsphase von *Miscanthus*, ausreichenden Niederschlägen, höheren P- und Mg-Gehalten sowie einem neutralen pH Wert. Während in Puch vor allem die exponierte Lage und eventuell auch die niedrigeren Nährstoffgehalte die ertragsbegrenzenden Faktoren darstellen könnten, ist dies in Güntersleben eher der geringe Niederschlag.

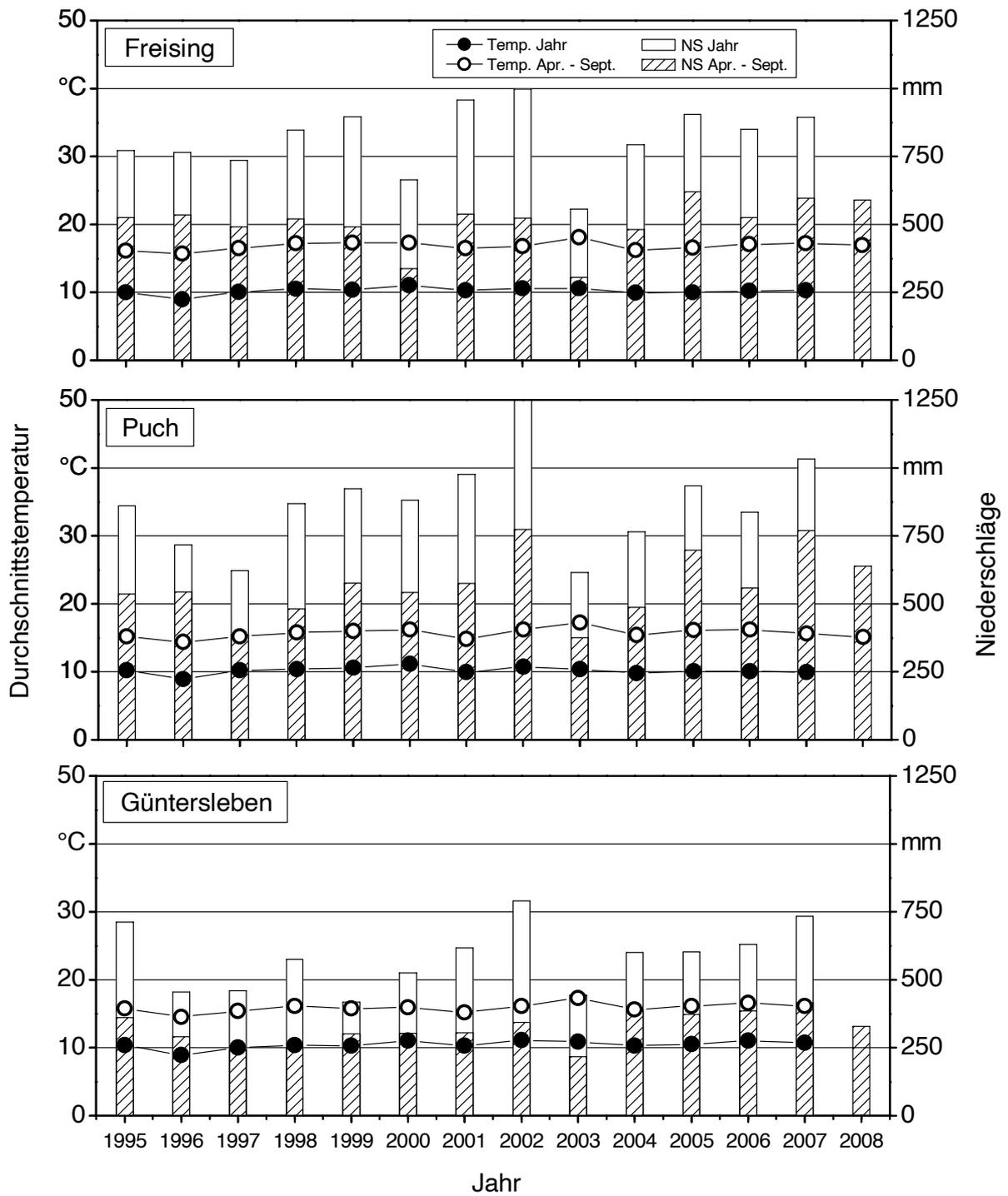


Abbildung 17: Ganzjährige und halbjährige (Apr. - Sep.) Temperatur- und Niederschlagsmittelwerte der drei Versuchsstandorte

4.3.2 Wachstum und Erträge in Abhängigkeit vom Standort

Im Vergleich der Standorte erzielt *Miscanthus x giganteus*, gedüngt mit 75 kg N ha^{-1} , in Freising die stabilsten, sowie auch die größten Wuchshöhen im Herbst mit Werten von 300 bis 365 cm, im Vergleich zu Puch mit Wuchshöhen zwischen 264 bis 335 cm (Abbildung 18). Die Vergleichsvariante in Güntersleben, gedüngt mit 100 kg N ha^{-1} , weist trotz der höheren N-Düngung heterogenere Wuchshöhen von nur 224 bis 359 cm auf.

Von 1991 bis 2000 ist ein überwiegend kontinuierlicher Ertragsanstieg bis zu 34 t ha^{-1} Trockenmasse in Freising und 26 t ha^{-1} in Puch zu verzeichnen, während in Güntersleben die Ertragszahlen größeren Schwankungen (9 bis 24 t ha^{-1}) unterliegen (Abbildung 19). Eine Umpflanzung des Bestandes im Februar 1994 in Güntersleben erklärt den deutlichen Ertragsrückgang der Standjahre 1994 und 1995 [50].

Nach dem Aufwuchsjahr 2002 gehen die Erträge an allen Standorten leicht zurück und bleiben auf einem niedrigeren Niveau, bis der Ertrag des Aufwuchsjahres 2007 wieder ansteigt (Abbildung 19). Ein Rückgang der Trockenmasseerträge trotz gleichbleibender Wuchshöhen könnte durch vermehrten Blattfall während der Wintermonate erklärt werden. In der Literatur werden ca. 20 Jahre maximale Nutzungsdauer angegeben [28][49], die die Bestände dieser Untersuchungen langsam erreichen. Ein weiterer Faktor der die Erträge beeinflusst hat, ist das Auftreten von Lager, welches in den Aufwuchsjahren 2003 und 2006 an allen Standorten stark und in den Aufwuchsjahren 2004, 2005 und 2007 leicht auftrat. Ob nun eine Wuchsdepression als genereller Trend in den mittlerweile 18 bis 19 Jahre alten *Miscanthus*beständen vorliegt, oder ob sich der Bestand wieder erholt und die Erträge wieder ansteigen werden, können erst Erhebungen der nächsten Jahre zeigen.

Wie eine Korrelationsanalyse ergab, besteht kein direkter Zusammenhang zwischen der Wuchshöhe und dem Ertrag. Andere Faktoren wie Triebzahlen und -dicke spielen eine wichtigere Rolle, wobei Triebzahlen, mit Schwankungsbreiten von 40 bis 70 Trieben je Rhizom, oft ausschlaggebend sind [11].

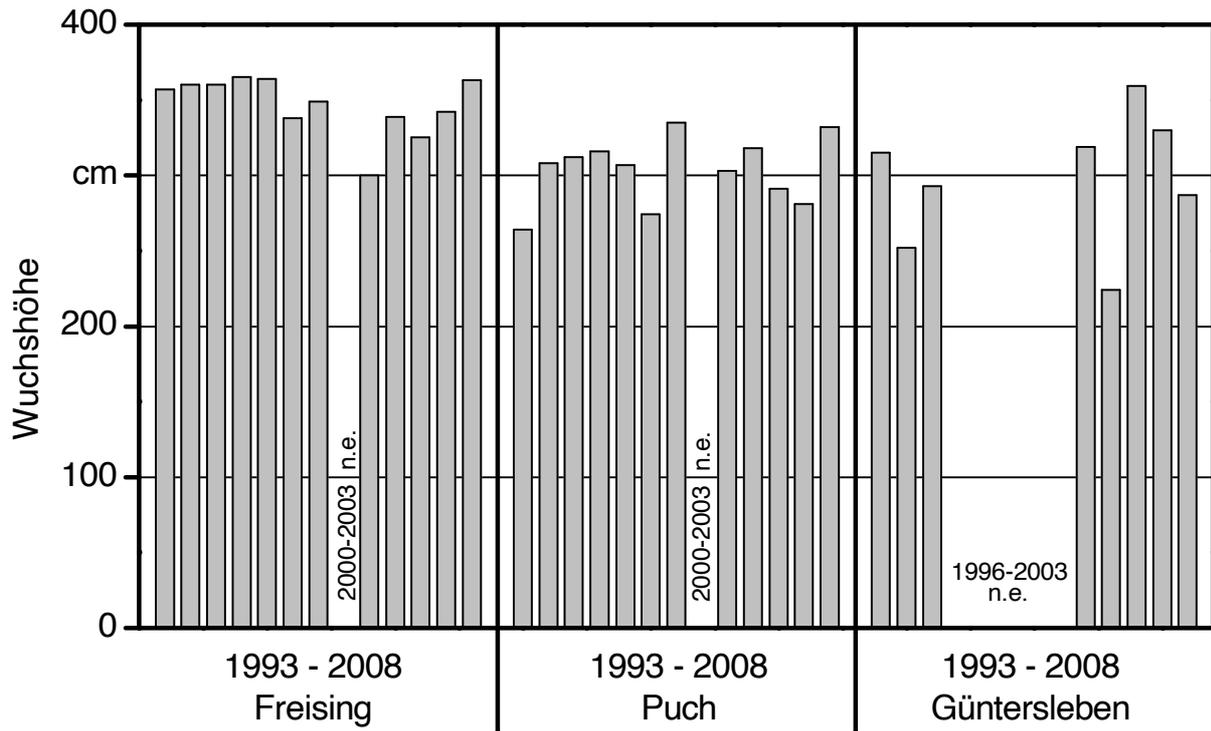


Abbildung 18: Wuchshöhen von *Miscanthus x giganteus* an drei bayerischen Standorten, gedüngt mit 75 kg N ha^{-1} in Freising und Puch sowie 100 kg N ha^{-1} in Güntersleben

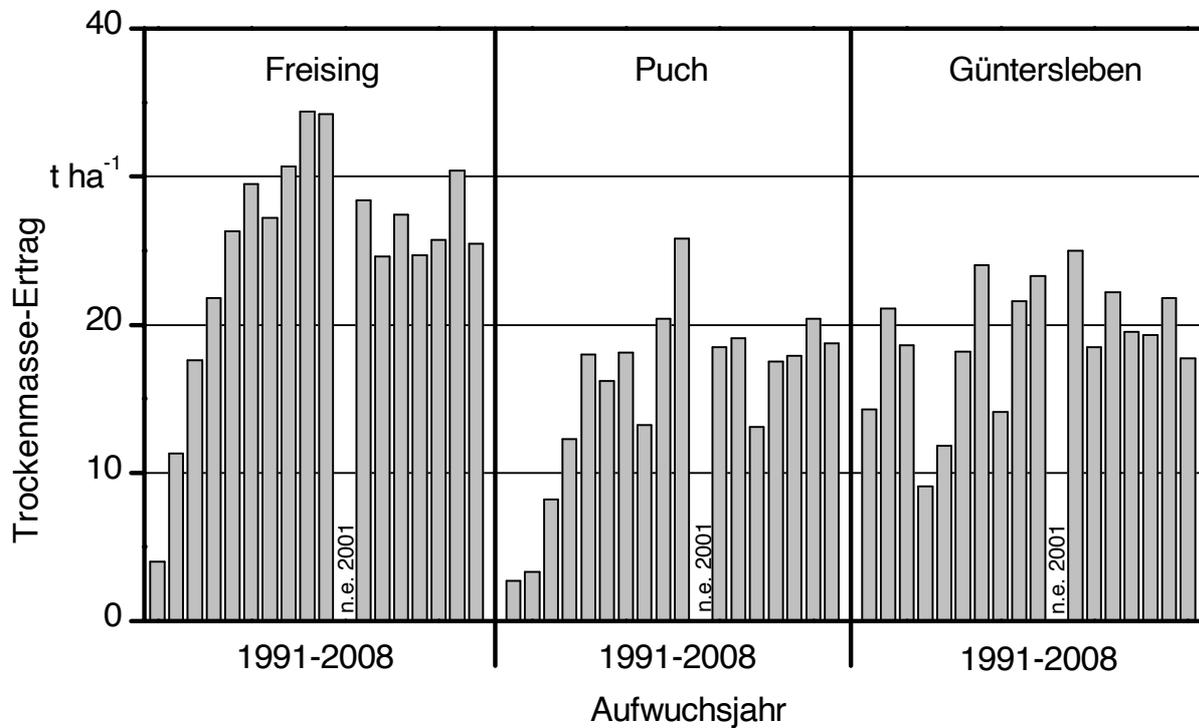


Abbildung 19: Trockenmasseerträge von *Miscanthus x giganteus* an den Standorten Freising und Puch gedüngt mit 75 kg N ha^{-1} sowie 100 kg N ha^{-1} in Güntersleben

Über den gesamten Versuchszeitraum ab 1995 erreichte *Miscanthus x giganteus* in Freising einen durchschnittlichen Trockenmasseertrag von $27 \text{ t ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$, mit Spitzenerträgen von 34 t ha^{-1} Trockenmasse in einzelnen Jahren. In Puch sind bei gleicher Düngungsstufe im Durchschnitt seit 1995 nur $17 \text{ t ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ angefallen, mit einzelnen Spitzenerträgen von 26 t ha^{-1} . Die Erträge von *Miscanthus x giganteus* fallen in Güntersleben, trotz der 25 kg N ha^{-1} mehr Stickstoff, 3 bis 17 t ha^{-1} geringer aus als Freising und liegen so im langjährigen Durchschnitt bei $19 \text{ t ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$, mit Spitzenerträgen in einzelnen Jahren von ebenfalls 25 t ha^{-1} .

Diese unterschiedlichen Trockenmasseerträge lassen sich mit den spezifischen Witterungs- und Standortbedingungen erklären. Die Versuchsfläche in Puch ist schutzlos gegen Wind- sowie Schneeeinfall und die halbjährigen Temperaturen während der Hauptwachstumsphase (April bis September) sind im Durchschnitt $0,7 \text{ °C}$ geringer als in Freising. In Güntersleben handelt es sich zwar um eine geschützte Tallage, in der aber ebenfalls frühe Fröste auftreten und bis zu 260 mm weniger Jahresniederschlag fällt. In Güntersleben und Puch tritt beispielsweise Lager (Abbildung 20) in fünf aufeinanderfolgenden Jahren auf, während dies in Freising nur in drei einzelnen Jahren vorkommt. Zudem sind in Puch und Güntersleben häufig frühe Fröste im Winter und später auftretende Bodenerwärmungen im Frühjahr vorhanden, so dass die Wuchperiode verkürzt und der Ertrag verringert wird.



Abbildung 20: Lager von *Miscanthus x giganteus* in Puch (links) und Güntersleben (rechts)

Obwohl die Temperaturen in Puch und Güntersleben während der Hauptwachstumsphase unter 17 °C liegen, werden hier im Durchschnitt 4 bis $5 \text{ t ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ mehr Trockenmasse erzielt als in Untersuchungen von Röhricht et al. [102], wo dieser Temperaturbereich zum Erzielen von Höchstertträgen angegeben wird. Da die Böden der bayerischen Standorte der vorliegenden Untersuchungen zudem geringere Nährstoffgehalte als die Böden der sächsischen Standorte aufweisen, sind vermutlich die 350 bis 410 mm höheren Niederschläge an den bayerischen Standorten ausschlaggebend für die höheren Erträge.

Es wird deutlich, dass *Miscanthus x giganteus* auch auf suboptimalen Standorten moderate Erträge erzielen kann. Für Höchstertträge sollten jedoch geschützte, wärmere Lagen mit Temperaturen

von mindestens 16 °C in der Hauptwachstumsphase von April bis September gewählt werden, die eine ausreichende Wasserverfügbarkeit ohne Staunässegefahr bieten.

4.3.3 Wachstum und Erträge in Abhängigkeit der Sorte

Der Sortenvergleich an den beiden Standorten Freising und Puch (Abbildung 21 und Abbildung 22) mit einer jährlichen Stickstoffdüngung von 75 kg N ha⁻¹ zeigt eindeutige Wachstums- und Ertragsunterschiede des Cultivars 'Giganteus' gegenüber den Sorten 'Goliath' und 'Gracillimus' (Abbildung 23 und Abbildung 24).



Abbildung 21: *Miscanthus x giganteus*, *M. sinensis* 'Goliath' und *M. sinensis* 'Gracillimus' (von hinten nach vorn) in Freising (links, Juni 2006) und Puch (rechts, Juli 2008)



Abbildung 22: *Miscanthus sinensis* 'Goliath', *M. x giganteus* und *M. sinensis* 'Gracillimus' (von links nach rechts) in Freising am 24.10.2005

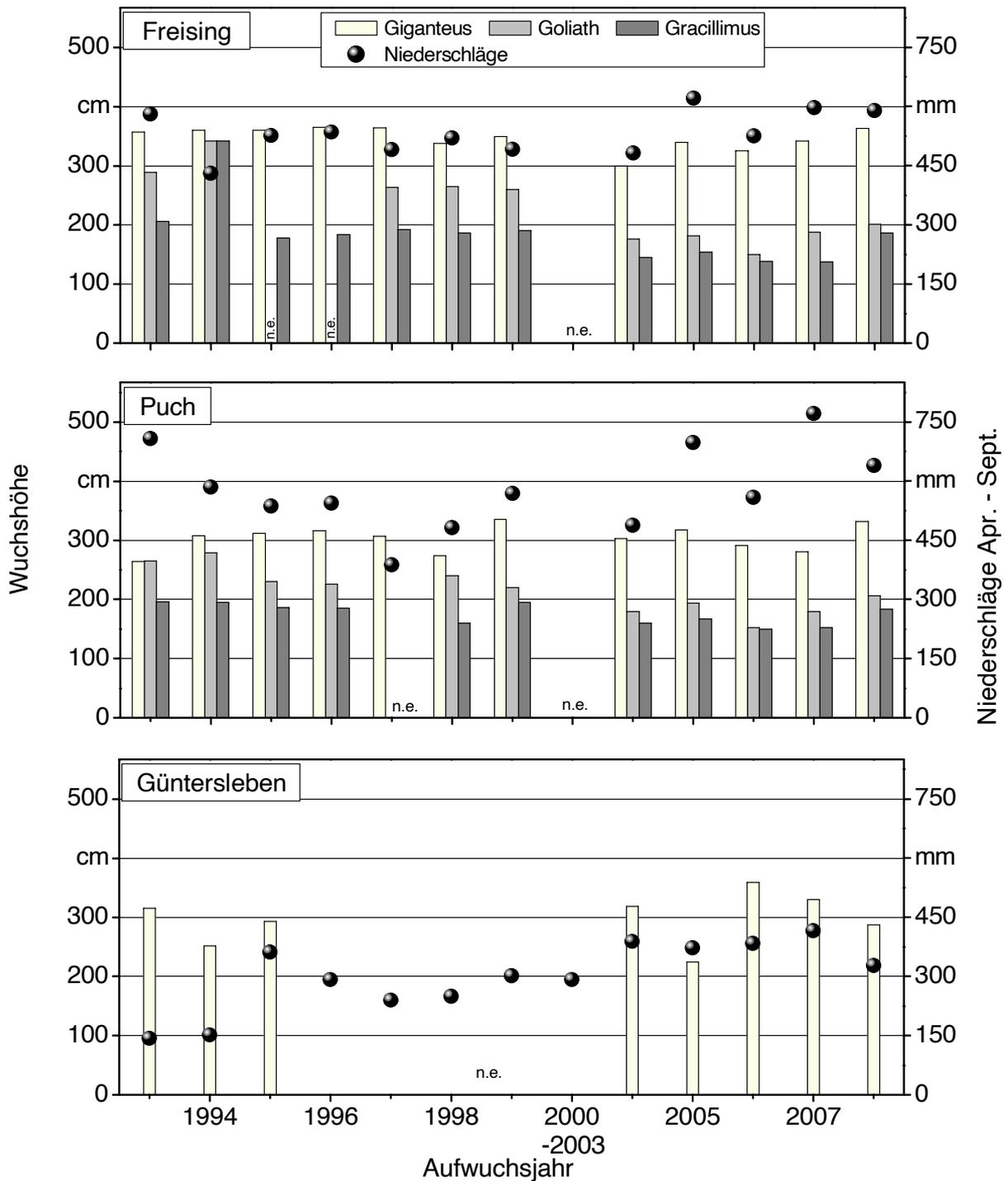


Abbildung 23: Wuchshöhen von *Miscanthus x giganteus*, *M. sinensis* 'Goliath' und *M. sinensis* 'Gracillimus' in Freising und Puch, gedüngt mit 75 kg N ha^{-1} sowie *M. x giganteus* in Güntersleben, gedüngt mit 100 kg N ha^{-1}

Ab 1994 weist *M. x giganteus* deutlich größere Wuchshöhen auf und erzielt in Freising schon im dritten Standjahr 3 t ha^{-1} mehr Trockenmasse als die beiden anderen Sorten. Die Wuchshöhen liegen mit einigen Schwankungen stets im selben Bereich und ein direkter Einfluss des Niederschlags kann nicht festgestellt werden (Abbildung 23). Generell zeigen sowohl 'Goliath' als auch

'Gracillimus' den gleichen Ertragsverlauf wie *Miscanthus x giganteus*, mit einem Ertragsanstieg bis 2000 und einer leichten Ertragsdepression bis zum Aufwuchsjahr 2007.

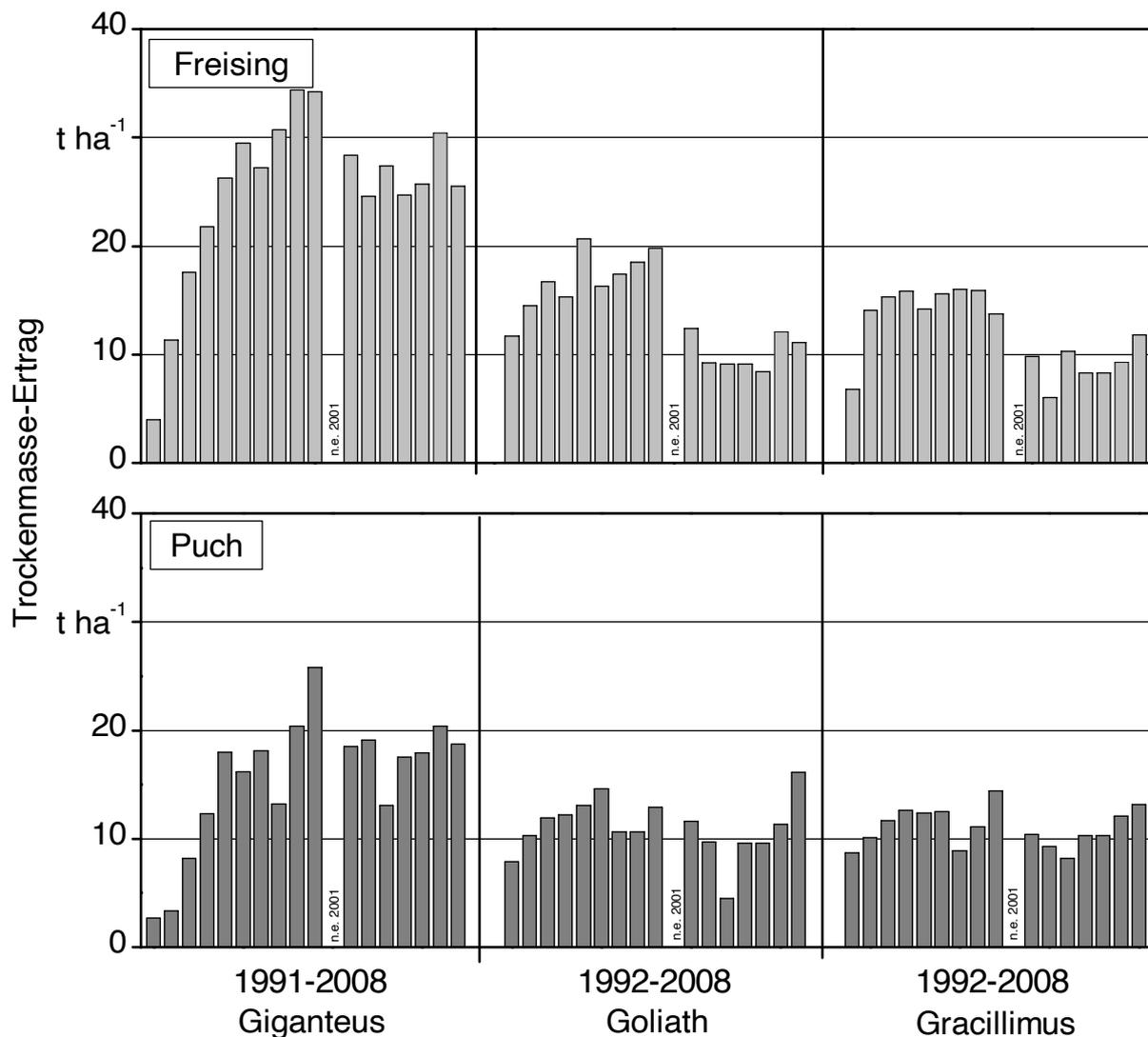


Abbildung 24: Trockenmasseerträge von *Miscanthus x giganteus*, *M. sinensis* 'Goliath' und *M. sinensis* 'Gracillimus', gedüngt mit 75 kg N ha⁻¹ in Freising und Puch

Die höheren Erträge in Freising lassen sich im Vergleich zum Standort Puch durch begünstigte Bedingungen wie eine höhere Ackerzahl, geschütztere Lage, sowie eventuell auch höhere Phosphorgehalte und einen höheren pH-Wert erklären. Da in Freising und Puch in gleicher Höhe Stickstoff bzw. in Güntersleben sogar größere Mengen gedüngt werden, sprechen die dennoch höheren Erträge in Freising für eine bessere N-Nachlieferung aus den dortigen Bodenvorräten, welche wichtiger für die Ertragssicherung bei *Miscanthus* ist als eine N-Düngung [50]. Angesichts der deutlich höheren Erträge in Freising im Vergleich zu den Erträgen in Puch scheint dies insbesondere bei *Miscanthus x giganteus* eine Rolle zu spielen (Abbildung 25). Bei den *Miscanthus sinensis* Sorten 'Goliath' und 'Gracillimus' sind die Standortunterschiede zwar tendenziell auch noch vorhanden, aber nicht mehr so deutlich zu erkennen.

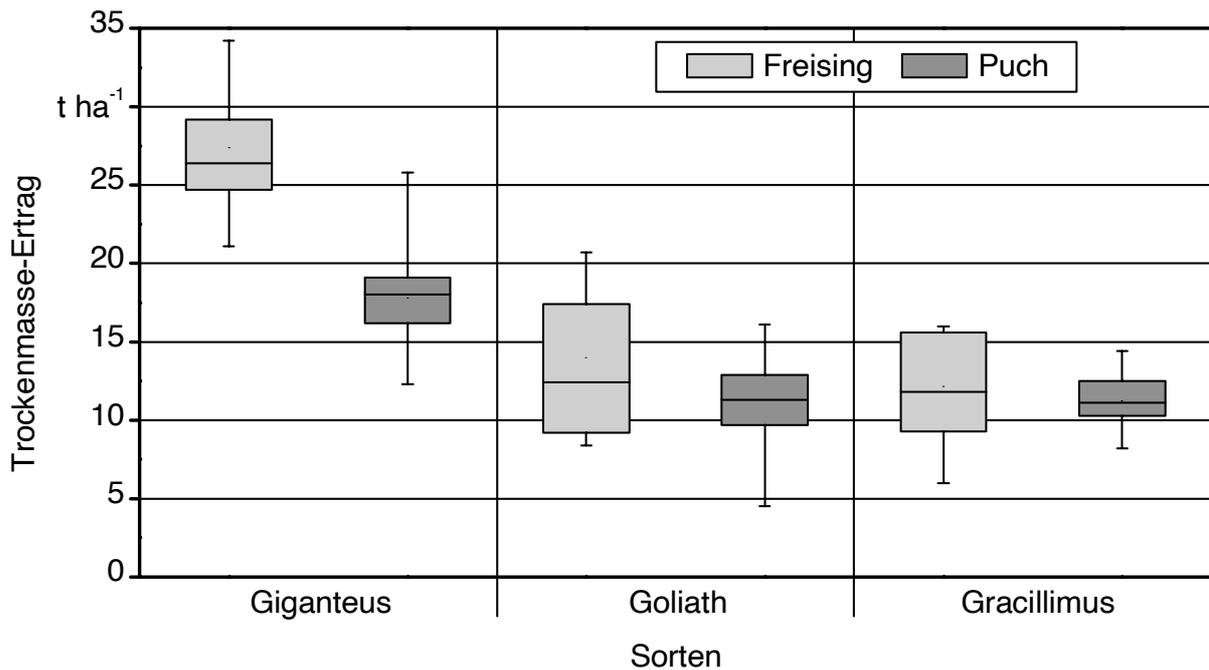


Abbildung 25: Trockenmasseerträge (1994 - 2008) von *Miscanthus x giganteus*, *M. sinensis* 'Goliath' und *M. sinensis* 'Gracillimus' in Freising und Puch. Boxen werden durch 25- und 75-Perzentile und Whisker durch 5- und 95-Perzentile bestimmt

Während exponierte Flächen wie in Puch mit ungehindertem Windeinfall, Höhen- oder Tallagen mit frühen Frösten nicht für einen erfolgreichen Anbau von *Miscanthus x giganteus* empfohlen werden können, scheinen diese Flächen eher für *M. sinensis* 'Goliath' und *M. sinensis* 'Gracillimus' geeignet zu sein.

Von der Wuchshöhe abgesehen bietet das Blatt-Stängel-Verhältnis eine zusätzliche Erklärung für die Ertragsunterschiede zwischen *M. x giganteus* und *M. sinensis* 'Gracillimus'. Während das Blatt-Stängel-Verhältnis des Cultivars 'Giganteus' und der Sorte 'Goliath' sehr ähnlich sind und bei der Ernte im Frühjahr einen Stängelanteil zwischen 78 bis 96 % in Freising und 92 bis 98 % in Puch aufweisen (Abbildung 26), verhält sich dies bei der Sorte 'Gracillimus' anders. Diese hat einen weitaus größeren Blattanteil und kommt somit bei der Ernte im Frühjahr nur auf einen Stängelanteil von 57 bis 85 % in Freising und 77 bis 87 % in Puch.

Je höher der Anteil Blätter im Häckselgut, desto höher ist der Gehalt von N und aschebildenden Elementen [73], und je höher der Gehalt an aschebildenden Elementen, desto geringer ist die Qualität als Brennstoff [74].

Aufgrund der höheren Ertragsleistung oder des besseren Blatt-Stängel-Verhältnisses ist *M. giganteus* den Sorten 'Goliath' und 'Gracillimus' derzeit überlegen. Hier könnte nur die Züchtung neuer Typen basierend auf den Sinensis-Typen Konkurrenzsorten hervorbringen.

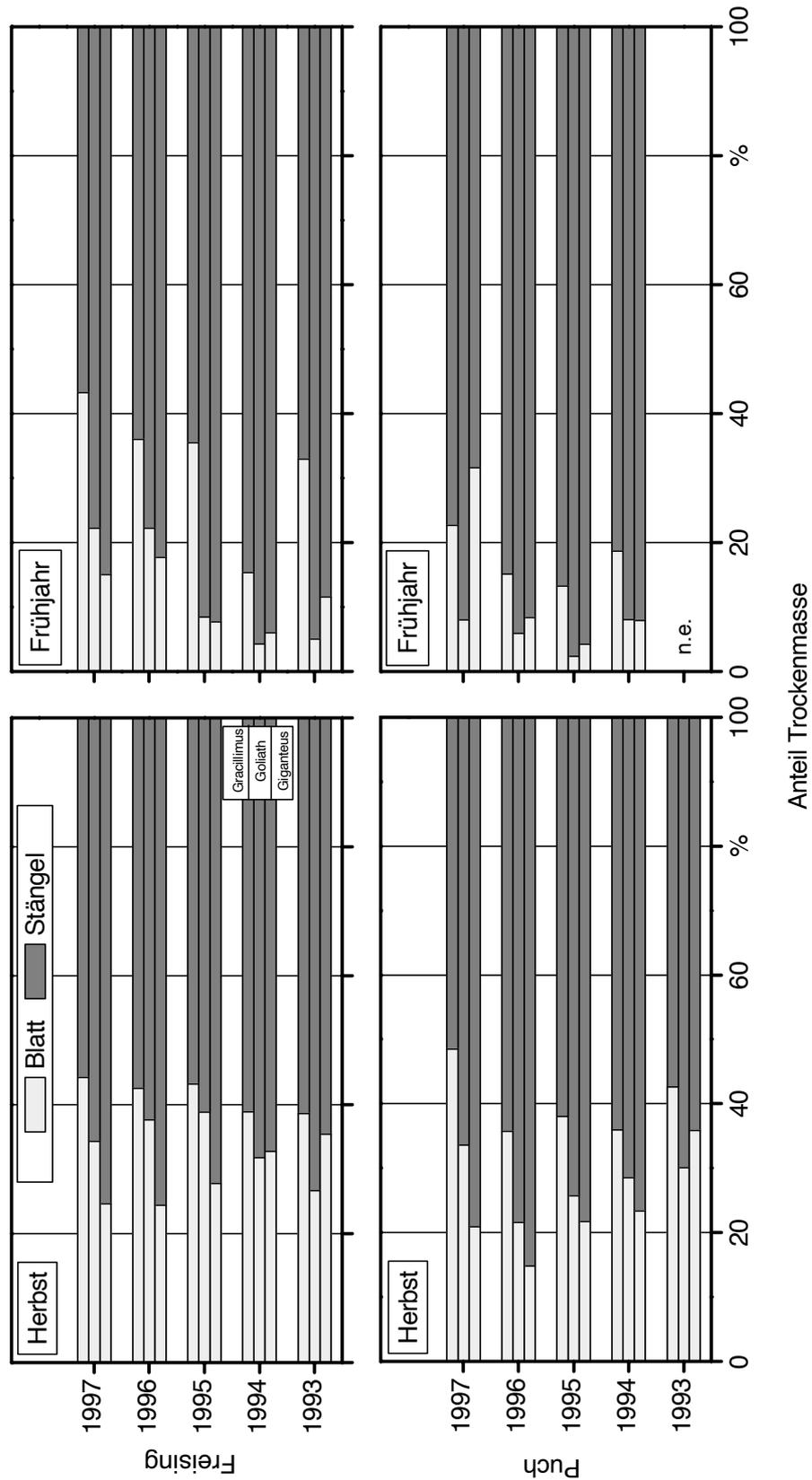


Abbildung 26: Blatt-Stängel-Verhältnis von *Miscanthus x giganteus*, *M. sinensis* 'Goliath' und *M. sinensis* 'Gracillimus' im Herbst und darauffolgendem Frühjahr an den Standorten Freising und Puch

4.3.4 Wachstum und Ertrag in Abhängigkeit unterschiedlicher N-Düngestufen

Von 1993 bis 1999 liegen die Wuchshöhen von *Miscanthus x giganteus* am Standort Freising zwischen 324 bis 362 cm bei 0 kg N ha⁻¹, 338 bis 365 cm bei 75 kg N ha⁻¹ und 341 bis 382 cm bei 150 kg N ha⁻¹. In den Jahren 2006 bis 2008 sind diese Unterschiede noch geringer und es kann weder ein wesentlicher Einfluss der unterschiedlich hohen Stickstoffdüngung noch der Niederschläge festgestellt werden (Abbildung 27 und Abbildung 28).

In Güntersleben wird ähnliches für die Wuchshöhen festgestellt. In den ersten vier Jahren, bis 1992, weist die Kontrollvariante ohne Stickstoffdüngung die größten Wuchshöhen auf (Abbildung 29). In den Folgejahren kann kein klarer Trend der Stickstoffwirkung nachgewiesen werden, die Wuchshöhen liegen alle in einem ähnlichen Bereich. Auffällig ist ab dem Jahr 1994 die mit 100 kg N ha⁻¹ gedüngte Variante, die mit nur einer Ausnahme (2006) die geringsten Wuchshöhen zeigt. Obwohl eine leichte Tendenz eines Niederschlagseinflusses auf die Wuchshöhen festzustellen ist (Abbildung 29), liefert *Miscanthus x giganteus* auch im sehr trockenen Jahr 1993 einen relativ kräftigen Aufwuchs mit Höhen über 300 cm in allen Varianten. Dies spricht für eine ausreichende Wasserversorgung des Standorts.

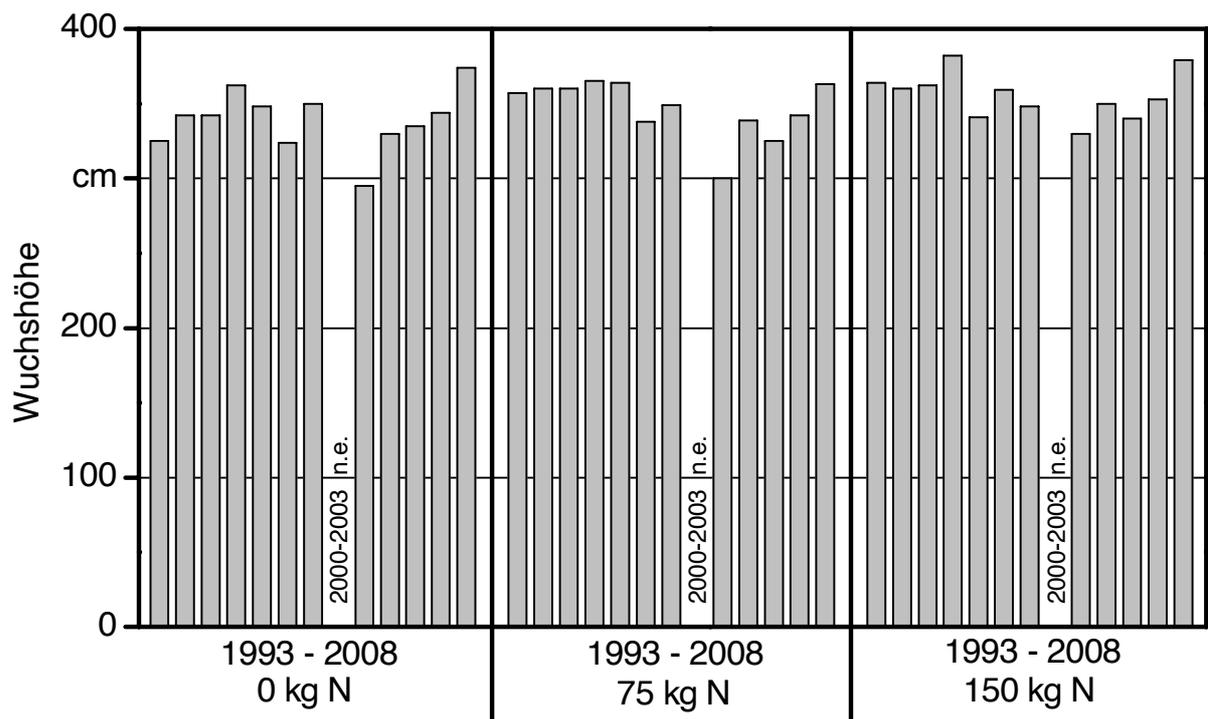


Abbildung 27: Wuchshöhe von *Miscanthus x giganteus* in Abhängigkeit verschiedener N-Düngestufen [kg ha⁻¹] am Standort Freising

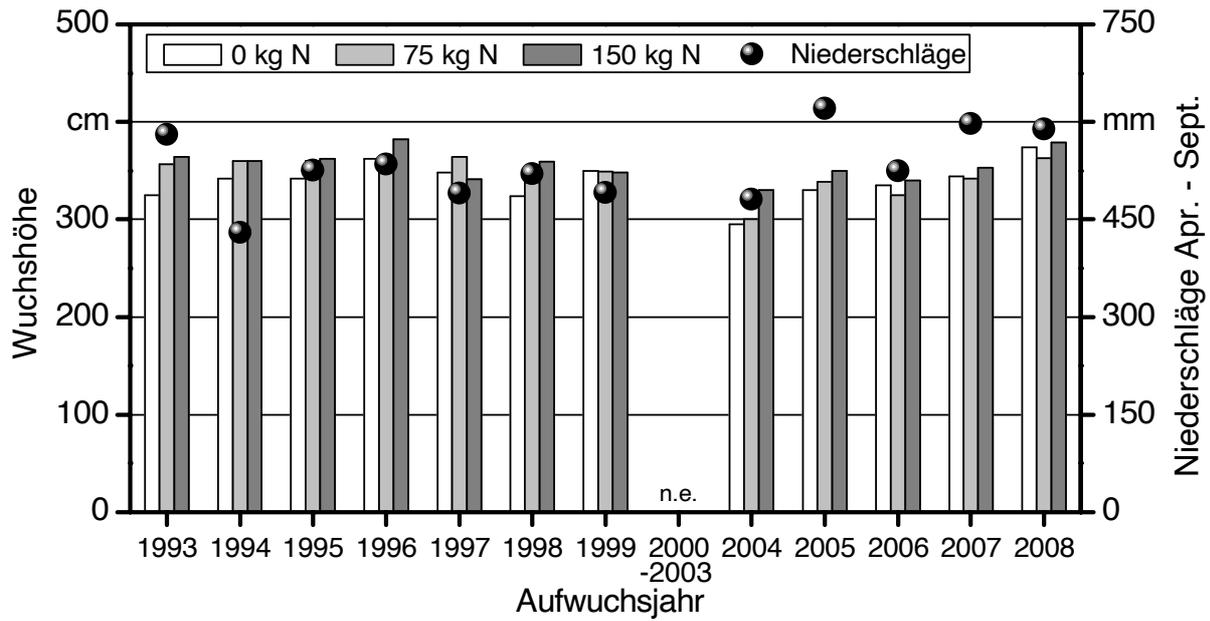


Abbildung 28: Wuchshöhe von *Miscanthus x giganteus* in Abhängigkeit verschiedener N-Düngestufen [kg ha^{-1}] am Standort Freising

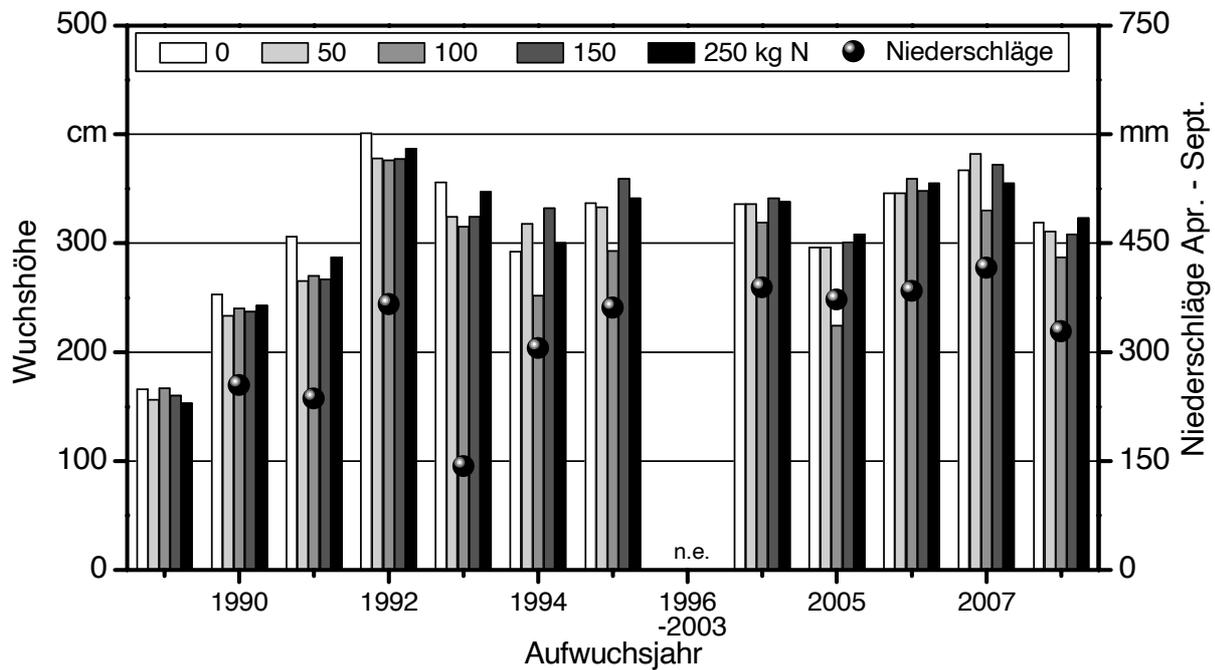


Abbildung 29: Wuchshöhe von *Miscanthus x giganteus* in Abhängigkeit verschiedener N-Düngestufen [kg ha^{-1}] am Standort Güntersleben

Im Gegensatz zu den Wuchshöhen zeichnet sich bei den Erträgen ein klarer Effekt der N-Düngung am Standort Freising ab (Abbildung 30). In einzelnen Jahren liegen die Erträge der Varianten gedüngt mit 75 kg N ha^{-1} und 150 kg N ha^{-1} zwar dicht beieinander, doch werden im Durchschnitt über die gesamte Versuchsdauer jeweils 4 bzw. 2,5 t mehr Trockenmasse je erhöhter

Düngestufe im Vergleich zur 0 kg-Variante geerntet. Ein direkter Zusammenhang zwischen Niederschlag und Ertrag scheint jedoch nicht vorhanden zu sein, was auf eine ausreichende Wasserversorgung für einen guten Aufwuchs und Ertrag in Freising hinweist.

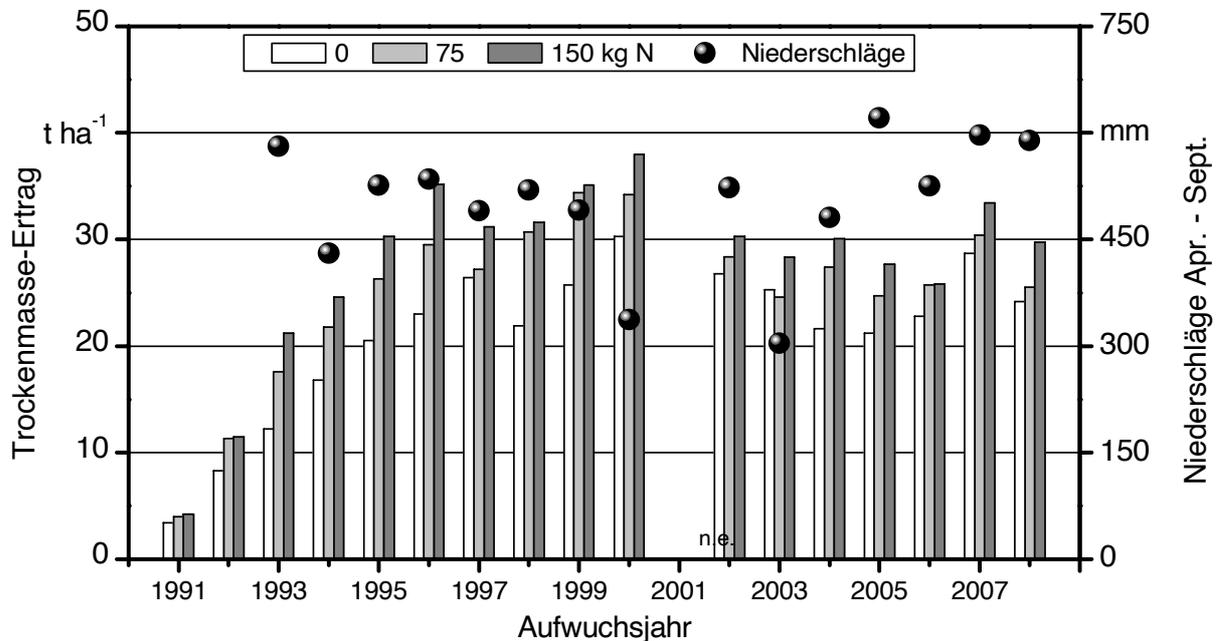


Abbildung 30: Trockenmasseerträge von *Miscanthus x giganteus* in Abhängigkeit von verschiedenen N-Düngestufen [kg ha^{-1}] in Freising

In Güntersleben deutet sich hingegen schon eher eine Abhängigkeit zwischen dem Ertrag und den Niederschlägen an. Der deutliche Düngeeffekt auf den Ertrag in Freising bleibt in Güntersleben dagegen aus. Die Ergebnisse sind in Bezug auf die Höhe der Stickstoffdüngung sehr heterogen und oftmals liefert die 0 kg N-Variante ebenso hohe oder gar höhere Erträge als die übrigen N-Düngestufen (Abbildung 31). Aufgrund der oftmals negativen Bilanz liefern alle Düngevarianten mit einer Ausnahme im Durchschnitt über den gesamten Versuchszeitraum weniger Trockenmasseerträge als die Kontrollvariante. Als einzige erzielt die 150 kg N-Variante 0,2 t mehr Trockenmasse als die 0 kg N-Variante.

Der niedrige Ertrag in Güntersleben 1994 und 1995 liegt an der Umpflanzung des Bestandes in diesen Jahren. Da die umpflanzten Pflanzen aber nahezu die gleiche Wuchshöhe wie in den Folgejahren aufweisen (Abbildung 29), sind vermutlich geringere Triebzahlen je Rhizom der Grund für die niedrigen Erträge in diesen beiden Jahren.

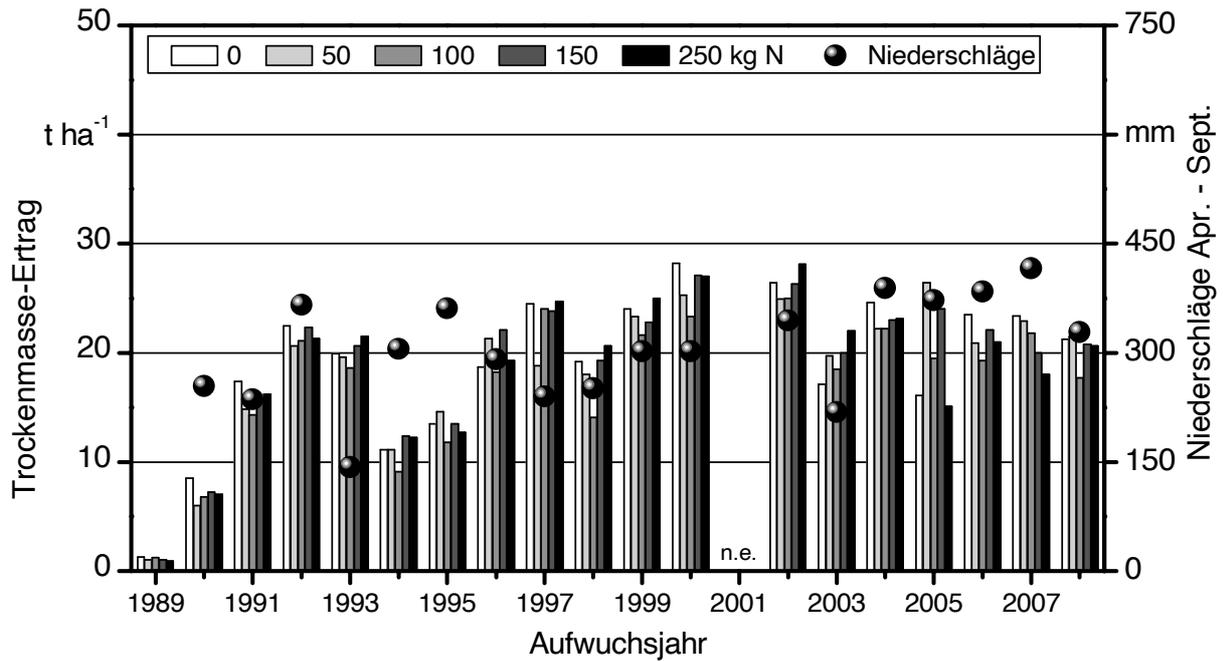


Abbildung 31: Trockenmasseerträge von *Miscanthus x giganteus* in Abhängigkeit von verschiedenen N-Düngestufen [$kg\ ha^{-1}$] in Güntersleben

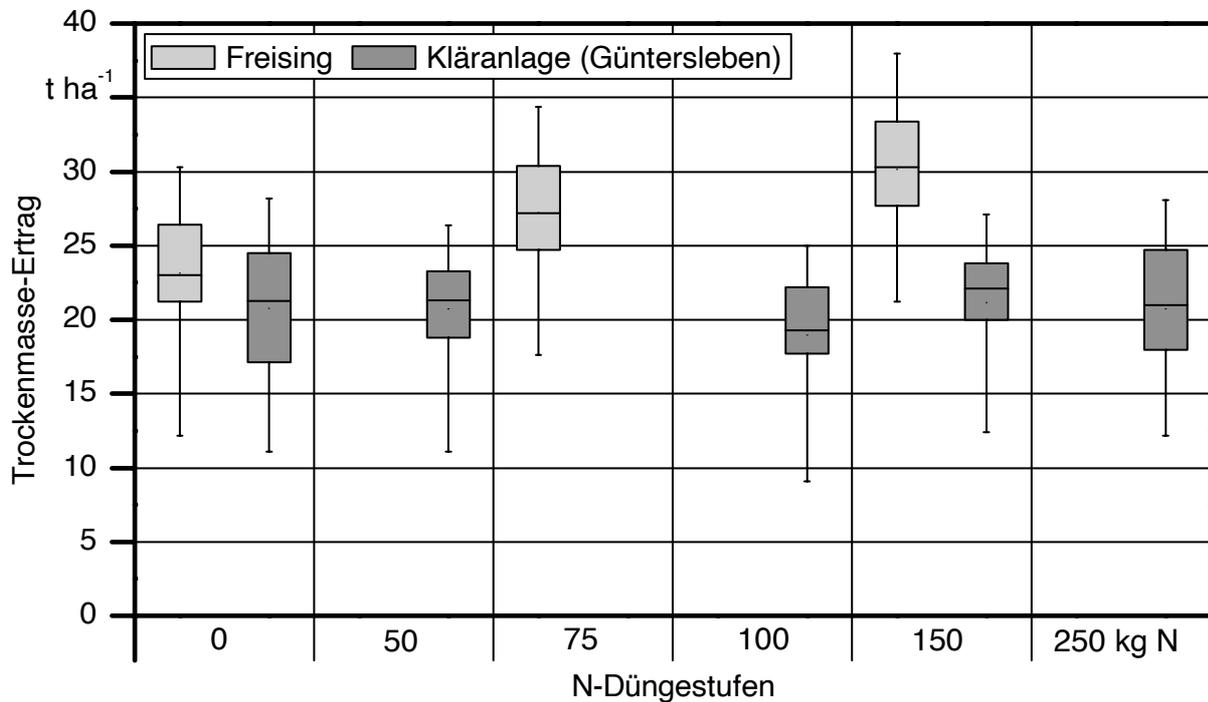


Abbildung 32: Trockenmasseerträge von *Miscanthus x giganteus* über den gesamten Versuchszeitraum in Abhängigkeit unterschiedlicher N-Düngestufen [$kg\ ha^{-1}$] in Freising und Güntersleben

Während die Erträge im Durchschnitt über die gesamte Versuchsdauer von 1993 in Freising bei erhöhter N-Düngung von 23 auf 27 t ha⁻¹ a⁻¹ steigen, bei einem Spitzenertrag von 38 t ha⁻¹, bleiben sie in Güntersleben im Durchschnitt, wie auch die Spitzenerträge, um 10 t ha⁻¹ a⁻¹ niedriger, unabhängig von der Höhe der Stickstoffdüngung (Abbildung 32). Dies deutet darauf hin, dass der gedüngte Stickstoff in Freising gut für die Trockenmassebildung genutzt werden kann. Hierfür sprechen zum Beispiel die niedrigeren N_{min}-Gehalte im Herbst (Abbildung 33).

In Güntersleben hingegen kann Miscanthus den dargebotenen Stickstoff nicht verwerten und so kommt es vor allem in den Varianten mit hohen N-Gaben (100 bis 250 kg N) zu hohen N_{min}-Werten im Herbst (Abbildung 34). Diese können insbesondere nach Abschluss der Wachstumsphase zur erhöhten Auswaschung von Nitrat in der wachstumsarmen Winterperiode führen und das Grundwasser belasten.

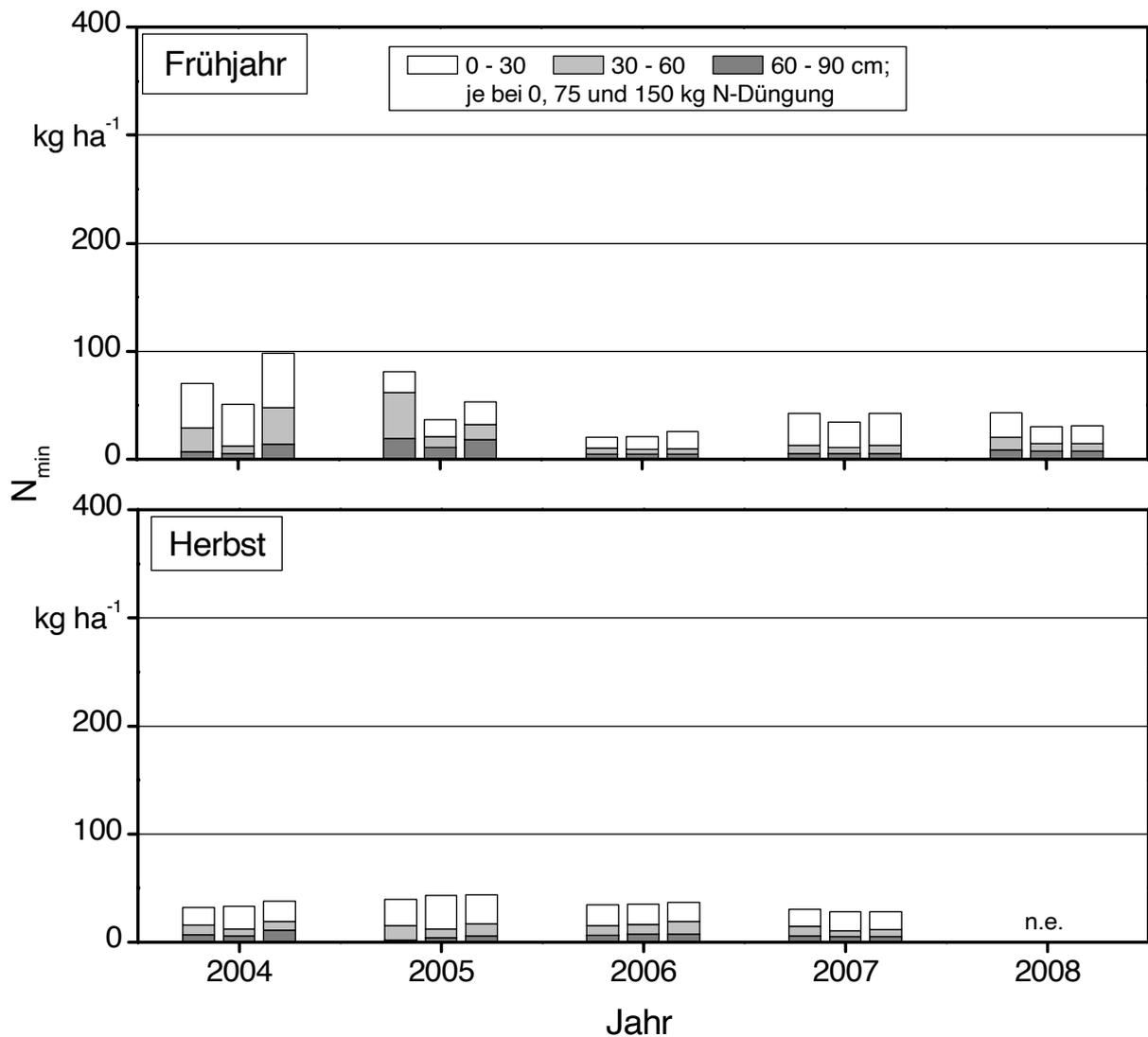


Abbildung 33: N_{min}-Gehalte in drei verschiedenen Bodentiefen eines *Miscanthus x giganteus*-Bestandes bei drei unterschiedlichen N-Düngestufen [kg ha⁻¹] in Freising

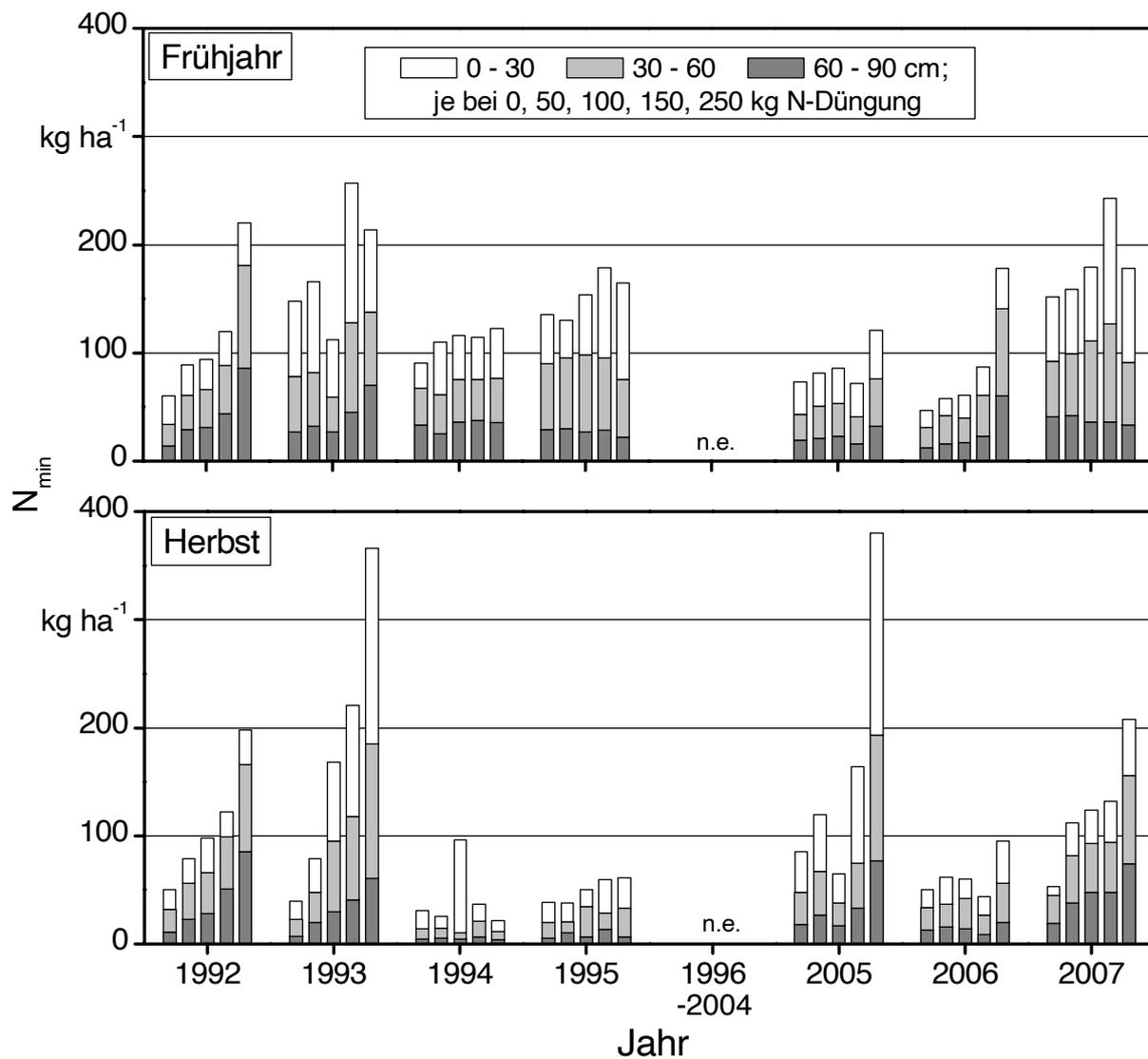


Abbildung 34: N_{\min} -Gehalte in drei verschiedenen Bodentiefen eines *Miscanthus x giganteus*-Bestandes bei fünf unterschiedlichen N-Düngestufen [kg ha^{-1}] in Güntersleben

Die sehr niedrigen N_{\min} -Gehalte im Herbst 1994 und 1995 verglichen mit den N_{\min} -Gehalten im entsprechenden Frühjahr sprechen für eine verstärkte N-Aufnahme in der Wachstumsphase von April bis Oktober/November (Abbildung 34). Da die Erträge in diesen Jahren jedoch sehr niedrig bleiben, könnte die vermehrte N-Aufnahme eher mit der Regeneration der umgepflanzten Rhizome erklärt werden, die in der ersten Zeit mehr Energie und Nährstoffe zur Wiederetablierung brauchen.

Die hier vorliegenden Ergebnisse zeigen, dass eine Düngung bis zu 150 kg ha^{-1} Ertragssteigerungen erzielt, während höhere N-Düngungsraten eher zu einem Ertragsrückgang führten. In anderen Versuchen zeigte sich eine N-Düngung mit 120 und 180 kg N ha^{-1} nicht annähernd so effektiv wie nur 60 kg N ha^{-1} [101], die neben einer Ertragssteigerung auch zur Steigerung der Wuchshöhe sowie Anzahl Triebe führen kann [110]. Anderenorts wird empfohlen, eine einmalige frühe Düngung während der Bestandesetablierung eher gering zu halten (50 kg N ha^{-1}), während im dritten

Jahr eine Düngung von bis zu 200 kg N ha^{-1} zur Bestandesetablierung toleriert werden kann, allerdings nicht in Bezug auf Ertragssteigerung [9]. In weiteren Untersuchungen hingegen erzielte eine Düngung von 100 kg N im dritten und vierten Anbaujahr einen Ertragszuwachs von $2,5$ und $2,8 \text{ t ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ [99].

Stickstoffdüngung zeigt nur dann eine Ertragssteigerung, wenn nicht andere Faktoren wie Temperatur und Wassergehalt, eine limitierende Rolle spielen [11]. In Güntersleben ist es zum einen während der Vegetationszeit kühler als in Freising und es treten ab und an frühe Fröste auf. Ein höheres Schneeaufkommen in Güntersleben verringerte den dortigen Ertrag in einzelnen Jahren. Zum anderen weist der Standort Güntersleben einen sehr viel geringeren Niederschlag auf als Freising. Dies begrenzt das Wachstum durch eine verminderte Wasserversorgung des Bodens und kann zusätzlich zu geringeren N-Aufnahmen führen.

Eine Düngung soll jedoch in vielen Fällen nicht nur die Ertragsleistung steigern, sondern eventuell auch zu einer Erhöhung der Qualität des Ernteguts führen. Durch einen höheren Stängelanteil des Ernteguts bei *Miscanthus* im Frühjahr verringern sich die Nährstoffkonzentrationen des Häckselguts und erhöhen so seine Brennstoffqualität.

In Freising findet in einzelnen Jahren eine mit der Erhöhung der Stickstoffdüngung einhergehende, leichte Anreicherung des Blattanteils im Frühjahr um 5% für die 75 kg N Variante und um 9% für die 150 kg N Variante statt (Abbildung 35). Generell lässt sich somit sagen, dass eine erhöhte Stickstoffdüngung auf guten Standorten zwar zu einer Ertragssteigerung führen kann, jedoch unter Umständen die Qualität des Ernteguts durch vermehrte Blattanteile verringert.

Der Blattfall ist nicht nur wichtig für die Erhöhung der Brennstoffqualität des Ernteguts, sondern trägt auch wesentlich zur Rückführung organischer Substanz bei. Es verbleiben bis zu 30% der Biomasse auf dem Feld und so kommt es in den mehrjährigen *Miscanthus*beständen zu einer beträchtlichen Humusakkumulation im Boden [11].

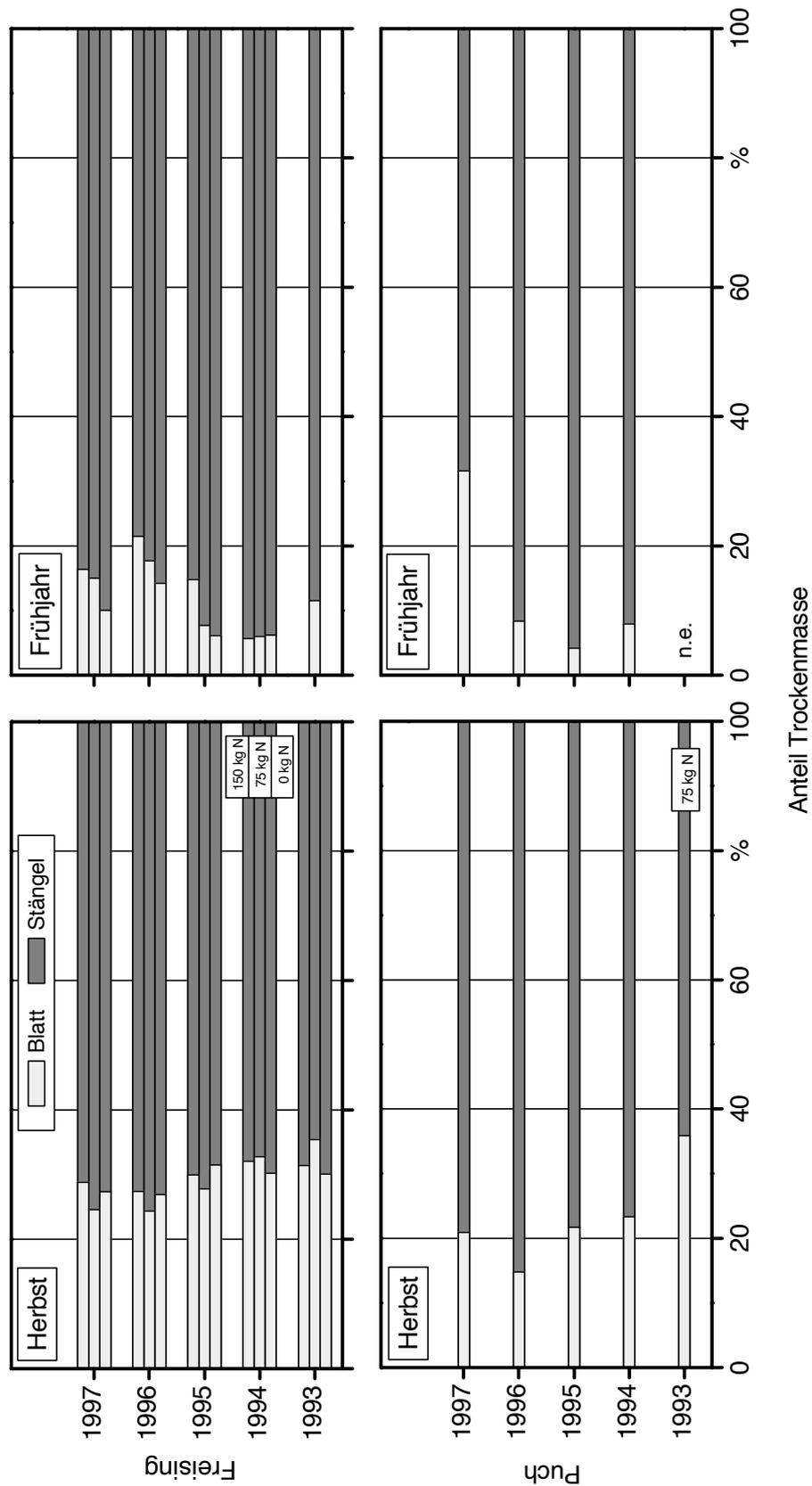


Abbildung 35: Blatt-Stängel-Verhältnis von *Miscanthus x giganteus* im Herbst und darauffolgendem Frühjahr in Abhängigkeit verschiedener N-Düngestufen [kg ha⁻¹] in Freising und Puch

4.3.5 Inhaltstoffe des Ernteguts

In den Beispieljahren 2003 und 2004 wurden Inhaltsstoffanalysen am gesamten Erntegut aller drei Standorten, sowie 2004 an separat geernteten Blättern in Freising und Puch durchgeführt (Tabelle 5 und Tabelle 6). Erwartungsgemäß steigen mit erhöhter N-Düngung auch die N-Gehalte im gesamten Häckselgut sowie in den Blättern. In Freising und Puch enthalten die Blätter ungefähr doppelt so viel Stickstoff, ebenso viel Magnesium, aber nur ca. die Hälfte an Phosphor als das gesamte Häckselgut. Der Calciumgehalt der Blätter ist sogar viermal so hoch als im gesamten gehäckselten Erntegut.

In 2004 fielen Stickstoff- und Kaliumgehalte im gesamten Häckselgut aller Düngestufen in Güntersleben höher aus als in Freising (Tabelle 5). Dies könnte durch die höheren Gehalte an N_{\min} und K im Boden erklärt werden. Andererseits trat an den Orten Güntersleben und Puch 2004 Lager auf, welches das Abfallen der Blätter reduziert. Da Blätter höhere Nährstoffgehalte als Stängel aufweisen (Tabelle 6), könnte dies zusätzlich die höheren Gesamtgehalte an N und K im gesamten Häckselgut der beiden Standorte im Vergleich zu Freising erklären (Tabelle 5). Andererseits können die höheren Erträge und niedrigeren Nährstoffgehalte in Freising auf einen Verdünnungseffekt hindeuten [74].

Ein erhöhter N-Gehalt in Trieben zum Vegetationsende kann aus pflanzenphysiologischer Sicht erklärt werden, da jüngere Triebe mehr Stickstoff aufweisen als ältere [11]. Hingegen sind die steigenden N-Gehalte im Erntegut je Düngestufe und somit einhergehende, steigende K-Gehalte, wie sie auch in dieser Langzeitstudie vorgefunden wurden, nicht nur aus pflanzenphysiologischer Sicht zu erklären.

Die Nährstoffverluste durch Blattfall sowie Nährstoffverlagerungen in das Rhizom betragen ca. 89 % für K, 33 % bei P und nur 11 % bei N [11]. Die Kaliummenge aus den abgefallenen Blättern wird fast vollständig über Winter aus dem organischen Material ausgewaschen, in den Boden verlagert und steht bei Vegetationsbeginn wieder zur Verfügung. Stickstoff wird hingegen eher durch Mineralisation und weniger durch Auswaschung freigesetzt. Da Mikroorganismen über Winter weniger aktiv sind und dementsprechend weniger Mineralisation stattfindet, scheint die pflanzeninterne Translokalisierung von N aus der oberirdischen Biomasse in das Rhizom ausschlaggebend für eine gute Stickstoffversorgung bei Vegetationsbeginn zu sein.

Tabelle 8: Nährstoffgehalte des gehäckselten Ernteguts (Blätter und Stängel) von Miscanthus x giganteus in zwei Beispieljahren in Freising, Puch und Güntersleben

Jahr	Ort	Düngung [kg ha ⁻¹]	Nährstoffgehalt gehäckselter Blätter und Stängel [% der Trockenmasse]							
			N	P	K	Mg	S	Ca	C	Na
2003	Freising	0	0,25	0,06	0,38	0,03	0,09	0,07	46	< 0,003
	Freising	75	0,28	0,05	0,32	0,04	0,07	0,08	46	< 0,003
	Freising	150	0,31	0,04	0,35	0,04	0,07	0,09	46	< 0,003
	Puch	75	0,27	0,04	0,5	0,03	0,14	0,06	46	< 0,003
2004	Freising	0	0,30	0,11	0,35	0,04	0,06	0,10	48	< 0,003
	Freising	75	0,24	0,11	0,31	0,05	0,08	0,10	48	< 0,003
	Freising	150	0,35	0,04	0,42	0,07	0,07	0,11	49	< 0,003
	Güntersleben	0	0,43	0,04	0,59	0,05	0,09	0,15	48	< 0,003
	Güntersleben	50	0,48	0,03	0,62	0,05	0,09	0,14	48	< 0,003
	Güntersleben	100	0,50	0,04	0,72	0,06	0,08	0,14	49	< 0,003
	Güntersleben	150	0,56	0,03	0,68	0,05	0,09	0,17	48	< 0,003
	Güntersleben	250	0,55	0,03	0,67	0,06	0,09	0,15	48	< 0,003
	Puch	75	0,46	0,07	0,54	0,06	0,10	0,11	48	< 0,003

Tabelle 9: Nährstoffgehalte gehäckselter Blätter von Miscanthus x giganteus in einem Beispieljahr in Freising und Puch

Jahr	Ort	Düngung [kg ha ⁻¹]	Nährstoffgehalt gehäckselter Blätter [% der Trockenmasse]							
			N	P	K	Mg	S	Ca	C	Na
2004	Freising	0	0,56	0,06	0,21	0,09	0,09	0,41	47	< 0,003
2004	Freising	75	0,61	0,05	0,28	0,09	0,09	0,41	46	< 0,003
2004	Freising	150	0,74	0,06	0,55	0,09	0,09	0,41	46	< 0,003
2004	Puch	75	0,80	0,09	0,25	0,13	0,12	0,47	45	< 0,003

4.4 Schlussfolgerungen und Empfehlungen für die Praxis

Standortspezifische Faktoren wie Bodentyp, Nährstoffgehalte, Wasserversorgung und spezifische Lage der Versuchsflächen beeinflussen die Ertragsentwicklung von *Miscanthus x giganteus*, *M. sinensis* 'Goliath' und *M. sinensis* 'Gracillimus'.

Da an keinem der drei Standorte ein direkter Einfluss der Niederschläge auf die Ertragsentwicklung nachgewiesen werden kann, scheint die Grundwasserversorgung für den Anbau von *Miscanthus* überall ausreichend zu sein. Die höheren Erträge in Freising werden durch das dortige leicht erhöhte, halbjährige Temperaturmittel und später auftretende Fröste im Winter, welche die Wachstumsperiode verlängern, bewirkt.

Während Freising und Güntersleben jeweils recht geschützte Versuchsflächen bieten, liegt der *Miscanthus*-bestand in Puch exponiert auf einem Plateau, ohne Schutzhecke oder Gehölze. Dort gibt es keinen besonderen Schutz vor hohen Windgeschwindigkeiten oder Schneeeinfall, was zu erhöhtem Stängelbruch oder Lager führt. Zusätzlich verkürzen insgesamt etwas niedrigere Temperaturen, früher eintretende Fröste im Winter und erst später auftretende Erwärmung des Bodens im Frühjahr die Wachstumsperiode. In Güntersleben handelt es sich hingegen um einen geschützten Standort in Tallage, wo jedoch ebenfalls frühe Fröste auftreten können. Zudem fallen hier bis zu 260 mm weniger Jahresniederschlag als an den beiden anderen Standorten, welches die Wasserversorgung und somit das Pflanzenwachstum einschränkt.

Miscanthus kann bei geringen Nährstoffgehalten im Boden moderate Erträge liefern. Allerdings gilt wie überall, für optimierte Erträge sollten günstige Standorte für den Anbau gewählt werden. Es sollte ein nährstoffreicher Boden mit guter Drainierung vorhanden sein. Temperaturen ab durchschnittlich 16 °C während der Wachstumsphase wirken ertragssteigernd. Der Anbau von *Miscanthus* in Höhenlagen oder exponierten Flächen, auf denen kein Schutz vor Wind herrscht, frühe Wintereinbrüche sowie ein spätes Sprossschieben im Frühjahr auftreten, ist nicht zu empfehlen, wenn Höchstserträge von über 30 t TM ha⁻¹ angestrebt werden.

Im Vergleich des Cultivars *Miscanthus x giganteus* mit den *Miscanthus sinensis*-Sorten 'Goliath' und 'Gracillimus' geht *M. x giganteus* deutlich als ertragsstärkster Typ hervor. Im Blatt-Stängel-Verhältnis unterscheiden sich *M. x giganteus* und *M. sinensis* 'Goliath' kaum voneinander und weisen somit vermutlich die gleichen Brennstoffqualitäten auf. Im Gegensatz hierzu kann *Miscanthus sinensis* 'Gracillimus' nicht zur Brennstoffgewinnung empfohlen werden, da ein höherer Blattanteil im Erntegut vorhanden ist. Dadurch erhöhen sich Staubemissionen und Gehalte an Nährstoffen sowie aschebildenden Elementen im Häckselgut, was sich negativ auf die Brennstoffeigenschaften auswirkt und die Gefahr der Verschlackung erhöht.

Eine Stickstoffdüngung bis zu 150 kg N ha⁻¹ a⁻¹ kann, wie in den Ergebnissen gezeigt, zu einem Ertragsanstieg führen, doch nur wenn es keine anderen begrenzenden Faktoren gibt. Eine sehr hohe N-Düngung wie in Güntersleben kann nicht empfohlen werden, da aufgrund hoher N_{min}-Gehalte im Herbst die Gefahr der Nitratauswaschung im Winter auftritt. Ab Herbst kann *Miscanthus* diese Nährstoffe nicht mehr nutzen. Die Verlagerung der Nährstoffe aus dem oberirdischen Pflanzenmaterial in das Rhizom muss in der Berechnung des Düngebedarfs berücksichtigt werden.

Auch wenn die Erträge seit 2002 geringer ausfielen als in den Jahren zuvor, kann an keinem der Standorte und für keine Sorte von einem Ertragseinbruch gesprochen werden, der das Nutzungsende der Kultur anzeigen würde. Gerade die Ertragssteigerungen des Aufwuchsjahres 2007 deuten bei den 19-jährigen Beständen in Freising und Puch und den 20-jährigen Beständen in Güntersleben auf eine weitere Nutzungsdauer hin. Die nächsten Jahre werden zeigen, ob die Erträge weiterhin stabil bleiben oder ob nach 20 Jahren die Nutzungsdauer erschöpft ist.

4.5 Zusammenfassung der Ergebnisse aus den Langzeiterhebungen

Um verlässliche Angaben über den Miscanthusanbau in Bayern machen zu können, wurden im Zeitraum 1987 bis 1991 an zwölf verschiedenen Standorten Parzellenversuche mit *Miscanthus x giganteus*, *Miscanthus sinensis* 'Goliath' und *Miscanthus sinensis* 'Gracillimus' angelegt, zum Teil mit unterschiedlicher N-Düngung. Viele Versuche wurden aus verschiedensten Gründen vor Erreichen der Lebensdauer von 15 bis 20 Jahren gerodet. An drei Standorten, in Puch (Landkreis Fürstenfeldbruck), in Weihenstephan (Landkreis Freising) und in Güntersleben/Veitshöchheim (Landkreis Würzburg), sind diese Versuche noch erhalten und sind in Bayern die einzigen Exaktversuche, an denen Langzeituntersuchungen bezüglich Ertragsleistung und Ertragssicherheit durchgeführt werden können.

An den drei bayerischen Standorten konnten bei *Miscanthus x giganteus* Spitzenerträge von 34 t TM ha⁻¹ a⁻¹ in Freising, 26 t TM ha⁻¹ a⁻¹ in Puch und 24 t TM ha⁻¹ a⁻¹ in Güntersleben erreicht werden. Nach einem kontinuierlichen Ertragsanstieg von *Miscanthus x giganteus* in den ersten 10 Jahren an allen drei Standorten, gingen die Erträge ab 2002 zunächst einmal zurück und stiegen erst im Jahr 2008 wieder nennenswert an. Ein deutlicher Ertragsunterschied zwischen Freising und den anderen beiden Standorten ist zu erkennen, der in Extremjahren bis zu 17 t ha⁻¹ erreicht. Dies liegt wohl an den höheren Temperaturen in Freising während der Hauptwachstumsphase, höheren Niederschlägen gegenüber Güntersleben und generellen Boden- und Standortunterschieden. Bezüglich der relativ ähnlichen Standorte Freising und Puch könnten eventuell auch der höhere Phosphorgehalt und pH-Wert eine Rolle spielen. Zudem scheint am Standort Freising eine bessere N-Nachlieferung aus den dortigen Bodenvorräten vorhanden zu sein, welche wichtiger für die Ertragssicherung bei *Miscanthus* ist als eine N-Düngung. Des Weiteren handelt es sich bei Puch um eine exponierte Fläche, auf der die Bestände keinen Schutz vor Wind- oder Schneeeinfall haben. Im Vergleich zu Freising treten an den beiden anderen Standorten, Puch und Güntersleben, häufiger frühe Fröste im Winter und spätere Bodenerwärmung im Frühjahr auf, was die Wachstumsperiode verkürzt und so die Erträge verringern kann.

Eine Stickstoffdüngung bis zu 150 kg N ha⁻¹ a⁻¹ kann, wie beispielsweise in Freising, zu einer Ertragssteigerung führen. Wenn allerdings andere begrenzende Faktoren auftreten, wie geringe Temperaturen oder geringer Niederschlag, kann *Miscanthus* die zugeführten Nährstoffe nicht aufnehmen. Es kommt zur Erhöhung von N_{min}-gehalten im Herbst und die Gefahr der Nitratauswaschung im Winter steigt. Die Gefahr erhöhter N_{min}-Gehalte steigt besonders bei sehr hoher N-Düngung, die somit nicht empfohlen werden kann. Generell lässt sich sagen, dass eine

Stickstoffdüngung auf guten Standorten zu einer Ertragssteigerung führen kann, jedoch unter Umständen die Qualität des Ernteguts durch erhöhte Blattanteile verringert.

Miscanthus x giganteus liefert eindeutig höhere Erträge als *M. sinensis* 'Goliath' und *M. sinensis* 'Gracillimus'. In Freising liefert *M. x giganteus* schon im dritten Standjahr 3 t TM ha⁻¹ mehr Biomasse als die beiden anderen Sorten. Die Standortunterschiede stechen bei *M. x giganteus* hervor (Freising = 27 t TM ha⁻¹ a⁻¹; Puch = 17 t TM ha⁻¹ a⁻¹), während diese Tendenz bei den anderen Sorten zwar noch vorhanden, aber nicht mehr so deutlich zu erkennen ist. Im Blatt-Stängel-Verhältnis unterscheiden sich *Miscanthus x giganteus* und *Miscanthus sinensis* 'Goliath' kaum voneinander und weisen somit vermutlich die gleichen Brennstoffqualitäten auf. Die zum Teil 10 t ha⁻¹ a⁻¹ Ertragsdifferenz zwischen den Sorten sprechen jedoch für den Anbau von *M. x giganteus*, der die höchsten Erträge an beiden Standorten liefert. Die Sorte 'Gracillimus' kann, aufgrund niedriger Erträge und hohem Blattanteil im Erntegut, welcher die Brennstoffqualität negativ beeinflusst, für den Anbau nicht empfohlen werden.

Die Blätter des Ernteguts enthalten höhere Stickstoff-, Magnesium- und Calciumgehalte als das gesamte Häckselgut, während letzteres höhere Phosphorgehalte aufweist. Mit steigender N-Düngung erhöhen sich ebenfalls die N-Gehalte im Erntegut. Höhere Nährstoffgehalte im Häckselgut in Güntersleben lassen sich durch höhere N_{min}- und K-Gehalte im Boden erklären. Zudem verringert das stärker in Güntersleben und Puch auftretende Lager den Abfall der Blätter, was zusätzlich die Nährstoffkonzentrationen im gesamten Erntegut steigert.

5 Austriebsverhalten von Rhizomabschnitten aus *Miscanthus x giganteus* in Abhängigkeit von Alter und Lage im Mutterrhizom (TFZ)

5.1 Zielsetzung

Das Rhizom von *M. x giganteus* wächst ringförmig auseinander, neue Triebe werden vermehrt in den äußeren, d. h. jüngeren Rhizombereichen gebildet, während das Zentrum verkahlt. Die Beseitigung von alten oder nicht mehr benötigten *Miscanthus*-beständen ist relativ zeit- und kostenaufwändig, daher wird in der Praxis meist eine Rodung zur Gewinnung von neuem Pflanzgut durchgeführt, um auf diese Weise noch eine zusätzliche Wertschöpfung zu erzielen. Pflanzgut aus den älteren Rhizomteilen oder generell älteren *Miscanthus*-beständen könnte eine geringere Triebkraft aufweisen oder sogar schon abgestorben sein. Solche toten oder triebsschwachen Rhizomabschnitte würden zu verfahrensbedingten Lücken im Neubestand führen, die zusätzlich zu Pflanzfehlern einkalkuliert werden müssen.

Das Versuchsziel ist eine Bewertung von *Miscanthus*-pflanzgut in Form von Rhizomabschnitten hinsichtlich der Austriebsfähigkeit. Die maximal möglichen Austriebszahlen sollen unter kontrollierten Bedingungen ermittelt werden, um den Praktikern eine Abschätzung des maximalen Feldaufgangs bzw. den verfahrensbedingten Aufgangslücken in neu angelegten Beständen zu ermöglichen.

Dazu sollen in diesem Versuch die Qualitätseigenschaften und das Austriebsverhalten von Rhizomabschnitten, die aus verschiedenen alten Mutterrhizomen und aus verschiedener Lage im Mutterrhizom stammen, untersucht werden. Nach einer ausführlichen Beschreibung der Mutterrhizome im Hinblick auf alters- oder wuchsstandortbedingte Unterschiede, werden die gewonnenen Rhizomabschnitte je Alter und Lage im Mutterrhizom durch Qualitätsparameter, wie Durchmesser und Anzahl keimfähiger Knospen (im Folgenden „Augen“ genannt) charakterisiert.

Im Gewächshaus werden die Rhizomabschnitte unter definierten Wachstumsbedingungen qualitativ und quantitativ auf Wurzel- und Sprossentwicklung untersucht. Ermittelt werden die Triebkraft und das Wuchsverhalten der Rhizomabschnitte. Entsprechend der typischen Rhizomentwicklung von *Miscanthus x giganteus* wird vermutet, dass Rhizomabschnitte aus dem älteren, teilweise schon abgestorbenen Innenteil der Mutterrhizome weniger vital sind und daher eine verminderte Austriebskraft zeigen.

5.2 Material und Methoden

5.2.1 Versuchsaufbau und Zielgrößen

Zur Beantwortung der Versuchshypothesen wurde ein Versuch mit den zwei Faktoren Alter des Mutterrhizoms und Lage des Rhizomabschnitts im Mutterrhizom entworfen. Das Schema des Versuchs ist in Abbildung 36 dargestellt.

Alter Mutterrhizom:	2 Jahre	4 Jahre	7 Jahre
Lage im Mutterrhizom:	außen 1-jährig außen 2-jährig innen 2-jährig	außen 1-jährig außen 2-jährig innen mehrjährig	außen 1-jährig außen 2-jährig innen mehrjährig
Wiederholungen:			
je Alter Mutterrhizom	3	3	3
je Lage im Mutterrhizom	20	20	20

Abbildung 36: Versuchsaufbau mit den zwei Faktoren Alter des Mutterrhizoms und Lage im Mutterrhizom sowie Wiederholungen

Als beschreibende Parameter des Ausgangsmaterials bzw. als Zielgrößen wurden die folgend in Tabelle 10 bis Tabelle 13 dargestellten Größen erfasst. Alle Erhebungen an den Mutterpflanzen (inkl. oberirdischem Aufwuchs) bzw. Mutterrhizomen einer Altersstufe wurden vor der Gewinnung der Rhizomabschnitte durchgeführt. Auch die Ermittlung der Qualitätsparameter der erzeugten Pflanzrhizome erfolgte nur ein Mal vor dem eigentlichen Versuchsbeginn. Die Zählungen und Messungen zum Austriebsverhalten erfolgten an 6 bzw. 10 Terminen, wobei die Zählungen für alle Varianten in konstanten Zeitabständen zur Pflanzung durchgeführt wurden.

Tabelle 10: Beschreibende Parameter zur Charakterisierung der Mutterpflanzen

Material	Parameter oder Zielgröße	Einheit
Mutterpflanze	Herkunftsort	
Mutterpflanze	Alter (Vegetationsperioden)	a
Mutterpflanze	Anzahl Stängel	
Mutterpflanze	Anzahl Nachschosser	
Mutterpflanze	Wuchshöhe	cm
Mutterpflanze	Stängeldurchmesser in 30 cm Höhe	mm
Mutterpflanze	Stängeldurchmesser in 110 cm Höhe	mm
Mutterpflanze	Stängeldurchmesser in 190 cm Höhe	mm
Mutterpflanze	Trockenmasse oberirdischer Biomasse	kg
Mutterpflanze	Blatt-Stängel-Verhältnis	
Mutterrhzom	Rhizommasse mit anhaftender Erde	kg
Mutterrhzom	Rhizomdurchmesser	cm (2 x diagonal)
Mutterrhzom	Rhizomtiefe	cm
Mutterrhzom	Rhizomform	
Mutterrhzom	Rhizombesonderheiten	
Mutterrhzom	Größe Rhizominnenbereich	cm ²
Mutterrhzom	Masse Rhizominnenbereich	kg
Mutterrhzom	Masse Rhizomaußenbereich	kg
Mutterrhzom	Anzahl Halme im Innenbereich	

Tabelle 11: Beschreibende Parameter der Rhizomabschnitte, vor der Pflanzung ermittelt

Material	Parameter oder Zielgröße	Einheit
Rhizomabschnitte	Lage im Rhizom bei Entnahme	
Rhizomabschnitte	Anzahl Augen ≤ 5 mm vor Pflanzung	
Rhizomabschnitte	Anzahl Augen > 5 mm vor Pflanzung	
Rhizomabschnitte	Minimum-Durchmesser vor Pflanzung	mm
Rhizomabschnitte	Maximum-Durchmesser vor Pflanzung	mm

Tabelle 12: Zielgrößen, die an 6 Terminen mit definiert einheitlichem Abstand zum Pflanztermin an den ausgegrabenen Rhizomabschnitten ermittelt werden

Material	Parameter oder Zielgröße	Einheit
Rhizomabschnitte	Anzahl gekeimter Augen je Termin	
Rhizomabschnitte	Anzahl nicht gekeimter Augen je Termin	
Rhizomabschnitte	Anzahl Rhizome mit Wurzeln je Termin	
Rhizomabschnitte	Länge Wurzeln und Seitenwurzeln je Termin	cm
Rhizomabschnitte	Durchmesser Wurzeln und Seitenwurzeln	mm
Rhizomabschnitte	Auftreten Seitenwurzeln je Termin	
Rhizomabschnitte	Anzahl Sprosse je Termin	alle Sprosse > 10 mm
Rhizomabschnitte	Sprosslänge kürzester Spross je Termin	mm
Rhizomabschnitte	Sprosslänge längster Spross je Termin	mm
Rhizomabschnitte	Sprossdurchmesser längster Spross je Termin	mm

Tabelle 13: Zielgrößen, an 10 Terminen rein oberirdisch an den Rhizomabschnitten ermittelt

Material	Parameter oder Zielgröße	Einheit
Rhizomabschnitte	Anzahl oberirdischer, grüner Sprosse je Termin	
Rhizomabschnitte	Anzahl gekeimter Rhizomabschnitte je Termin	

5.2.2 Erzeugung der Rhizomabschnitte

Für die Erzeugung der benötigten Rhizomabschnitte wurden Mutterrhizome aus zwei, vier und sieben Jahre (Vegetationsperioden, Angabe ohne Pflanzjahr) alten Beständen an drei Orten entnommen. Aus Gründen der Arbeitsorganisation wurde der Versuch im Herbst und Winter durchgeführt. Der Entnahmezeitpunkt war Anfang Oktober 2004, als die Pflanzen noch weitgehend grün und noch keine Frühfröste aufgetreten waren, die eventuell das Austriebsverhalten der erzeugten Pflanzabschnitte hätten beeinträchtigen können. Von jeder Altersstufe wurden drei Mutterrhizome ausgegraben, gewogen, vermessen und gewaschen, um sie von anhaftender Erde zu befreien. Anschließend erfolgte nach optischer Beurteilung eine Aufteilung in einen möglichst halmfreien, verkahlten Innenbereich sowie einen Außenbereich. Diese Bereiche wurden mit einer Bügelsäge voneinander getrennt.

Aus dem Außenbereich wurden zwei Fraktionen, ein- und zweijährig, für die Gewinnung des Pflanzguts gebildet. Aus dem Innenbereich entstand nur eine, je nach Alter des Mutterrhizoms 2- bzw. mehrjährige Fraktion. Vor allem bei den 7-jährigen Mutterrhizomen wurde Wert darauf gelegt, von den älteren Rhizomabschnitten nur die jüngsten und farblich hellsten auszuwählen. Da in den Innenbereichen der älteren Mutterrhizome starke Verbräunungen bzw. Verrottungen zu erkennen waren, musste ohne diese Vorauswahl ein zu hoher Ausfall von Wiederholungen befürchtet werden. Allerdings wird ein solcher Selektionsschritt in der Praxis kaum in diesem Maße durchgeführt, so dass durch diese Versuchsmethode ein gesünderes Pflanzgut als praxisüblich erzeugt wurde.

Aus jeder Fraktion wurden 20 Pflanzrhizome mit einer Gesamtlänge von je $8\text{ cm} \pm 1\text{ cm}$ mittels Gartenschere herausgeschnitten, dabei sollten diese Abschnitte nach Möglichkeit unverzweigt sein. Bei einzelnen Pflanzrhizomen konnte nur durch die Auswahl eines verzweigten Rhizoms eine Gesamtlänge von 8 cm erreicht werden. Insgesamt wurden 540 Rhizomabschnitte verwendet.

5.2.3 Versuchsstandort

Der Versuch wurde in einem Gewächshaus der Stadtgärtnerei Straubing durchgeführt. Die Temperatur- und Luftfeuchtemessung erfolgte mittels eines Thermohydrographen. Das Gewächshaus ist beheizbar, die Temperatur bewegte sich zwischen 15 und 25 °C. Die relative Luftfeuchte lag zwischen 30 und 98 %. Dda die Werte aufgrund der Belüftung innerhalb kurzer Zeit stark variierten, kann kein Durchschnittswert angegeben werden. Die Pflanzgefäße wurden auf Gewächshaus-tische gestellt, welche mit einer Anti-Algen-Folie und einer grauen Bewässerungsmatte ausgekleidet waren.

5.2.4 Versuchsmaterialien

5.2.4.1 Pflanzgefäß

Als Pflanzgefäße wurden im Gartenbau übliche Multitopflatten (Fa. Bachmann) für 7 Töpfe, 11 cm Durchmesser und 8 cm Tiefe, mit Außenmaßen von 40 cm mal 28 cm und einem integrierten Wasserablauf in 1,5 cm Höhe verwendet. Bis zum Auflaufen diente ein mitwachsender Spinnvliesstoff (Hersteller Lutrasil[®], Folie Lutrasil[®] Thermoselect 17 g/m², weiß) auf den Paletten als Verdunstungsschutz.

5.2.4.2 Nährmedium und Gießverfahren

Als Kultursubstrat diente das wasserspeichernde Tongranulat Seramis[®], da es strukturstabil ist und sich nicht verdichtet, so dass die Wurzeln im Pflanzgefäß stets ausreichend mit Sauerstoff versorgt werden. Ein hohes Porenvolumen im Tongranulat sorgt für eine gute Wasserspeicherfähigkeit, die Pflanzen werden bis zu dreimal länger mit Feuchtigkeit und Nährstoffen versorgt als durch herkömmliche Blumenerde. Die laut Hersteller empfohlene optimale Gießmenge beträgt ein Viertel des Topfvolumens [23]. Die Eigenschaften des Tongranulats sind:

- pH-Wert: 6,2 - 7,5
- Salzgehalt (KCl): $< 0,5\text{ g l}^{-1}$
- Gesamt-N: 3 mg l^{-1}
- P₂O₅: 5 mg l^{-1}
- K₂O: 100 mg l^{-1}

Die ideale Gießmenge von einem Viertel des Topfvolumens entspricht bei den oben beschriebenen Pflanzgefäßen 165 ml. Eine Abtrocknung des Tongranulates ist leicht an der Farbaufhellung zu erkennen. Als Hilfsmittel zur Optimierung der Wasserversorgung dienen:

- ein Seramis[®]-Gießanzeiger (rot = gießen, blau = feucht) und
- ein Seramis[®]-Profi-Gießhelfer (grüne Anzeige und Signalton: stehendes Wasser innerhalb der 1,5 cm Ablaufhöhe der Paletten, ausreichend Feuchtigkeit verfügbar; rote Anzeige: kein stehendes Wasser, Aufgießen bis Signal ertönt)

5.2.4.3 Nährlösung

Zur Versorgung der austreibenden Rhizomabschnitte mit Nährstoffen wurde das Nährsalz „Flory 2“ gewählt. Dieses Nährsalz ist NK-betont, dies kommt dem sehr geringen Nährstoffanspruch von Miscanthus nach Phosphat entgegen. Die Nährstoffkonzentrationen im Salz betragen:

- Gesamt-N: 15 %, davon 8,5 % als NO₃ und 6,5 % als NH₄
- P₂O₅: 5 %
- K₂O: 25 %
- MgO: 2 %.

Zum Ansetzen der Stammlösung werden 3,75 kg „Flory 2“ mit 10 l Wasser gemischt. Diese Stammlösung wird zum Gießen auf 0,1 - 0,3 Vol. % verdünnt.

5.2.5 Durchzuführende Arbeiten und Untersuchungen

5.2.5.1 Auswahl der Mutterrhizome

Das Mutterrhizom musste im Pflanzenverband stehen, ohne angrenzende Fehlstellen und repräsentativ für den übrigen Bestand sein. Nur vitale Mutterpflanzen wurden für den Versuch verwendet, um die Anzahl Fehlstellen im Versuch nicht durch falsch gewähltes Versuchspflanzenmaterial zu vergrößern. Dies führte allerdings zu einer im Vergleich zur Praxis künstlichen Verbesserung des Ausgangsmaterials für das Pflanzgut, da dort ganze Flächen und nicht einzeln selektierte Pflanzen gerodet werden. Die Mutterrhizome wurden manuell mittels eines Spatens ausgegraben.

5.2.5.2 Merkmalerfassung und Arbeiten nach Entnahme der Mutterrhizome

- Höhe des Mutterrhizoms in cm
- Durchmesser in cm (2 x diagonal gemessen)
- Ausformung (beschreibender Text)
- Gewicht Gesamtrhizom mit anhaftender Erde in kg
- Messung der Durchmesser aller Stängel in 30 cm, 110 cm und 190 cm Höhe in mm
- Feststellung der Frischmasse des oberirdischen Aufwuchses je Mutterrhizom
- Trockensubstanz- und Trockenmassebestimmung von Gesamtpflanze, Halmen und Blättern je Mutterrhizom
- Berechnung des Blatt-Stängel-Verhältnis der Trockenmasse

- Fotografische Dokumentation von Aufwuchs und Mutterrhizom
- Sonstige Auffälligkeiten (beschreibender Text)
- Einweichen der Mutterrhizome über Nacht in Wasser, um anhaftende Erde besser entfernen zu können, ohne das Mutterrhizom zu beschädigen

5.2.5.3 Bearbeitung der Mutterrhizome

- Definition des Innenbereiches über Merkmale wie Verkahlung (möglichst ohne Halme) und Verrottung
- Segmentieren und Zerschneiden mittels Bügelsäge
- Vermessung (2 x diagonal) und Massebestimmung des noch nicht gewaschenen Innenbereichs
- Vorsichtiges Abspülen oberflächlich anhaftender Erde
- Mechanisches Zerkleinern der Rhizomteile mittels Gartenschere und Entfernen der Erde durch Schwenken in Wasser
- Massebestimmung des gewaschenen Innenbereichs in kg
- Massebestimmung des gewaschenen Außenbereichs in kg
- Fotografische Dokumentation

5.2.5.4 Erzeugung von Rhizomabschnitten als Pflanzgut

- Schneiden von 8 ± 1 cm langen Abschnitten mittels Gartenschere
- Kürzung von Verzweigungen und Wurzeln am Rhizomabschnitt auf 1 cm Länge
- Selektion nach gesunden, vitalen Rhizomenabschnitten. Diese Selektion führt allerdings zu einer besseren Pflanzgutqualität als in der Praxis, da kranke oder tote Rhizomteile, die nicht oder nur schwach austreiben würden, entfernt werden. Eine solche Vorauswahl ist nicht praxisüblich und auch kaum arbeitstechnisch durchführbar. Durch die Vorauswahl werden mit diesem Versuch also bessere Austriebszahlen und -raten ermittelt als in der Realität.
- Beschreibung der Pflanzrhizome nach Anzahl der Augen von $2 \text{ mm} \leq 5 \text{ mm}$ und $> 5 \text{ mm}$
- Messung des Durchmesser des Pflanzrhizoms in mm vorne (minimaler Durchmesser) und hinten (maximaler Durchmesser) jeweils 2 cm vom Ende
- Fotografische Dokumentation jedes Rhizomabschnitts (20 Abschnitte je Lage im Rhizom, also insgesamt 60 Rhizomabschnitte je Mutterrhizom).

5.2.5.5 Pflanzung und Pflege der Rhizomabschnitte

- Einfüllen von Seramis[®] 3 cm hoch in Multitopfplatte
- Waagrechtes Einlegen eines Abschnittes pro Pflanzstelle
- Überdeckung mit Seramis[®] 4 cm hoch
- Aufstellung auf dem Gewächshaustisch
- Wasserzugabe von 165 cm³ je Pflanzstelle
- Abdeckung mit mitwachsender Folie
- Gießen nach Bedarf (entsprechend Anzeige der Gießanzeiger) mit verdünnter Nährlösung

5.2.5.6 Vorgehensweise an den 6 Messterminen

- Ausleeren der Multitopfplatten in vorbereiteten Behälter und Entnehmen der Abschnitte
- Wiedereinsetzen der Abschnitte in vorbereitete Paletten analog 5.2.5.5 unter Verwendung des bereits benutzten Seramis[®]-Granulates

5.2.5.7 Messungen und Bonituren nach der Pflanzung

- Erste Erhebungen 14 Tage nach der Pflanzung der Rhizomabschnitte und Folgebonituren im in Tabelle 14 angegebenen Abstand, um Arbeitsspitzen zu vermeiden
- Zählung gekeimter bzw. nicht gekeimter Augen
- Messung der minimalen und maximalen Sprosslänge in mm
- Messung des mittleren Durchmessers der kleinsten und größten Sprosse in mm
- Zählung der Rhizomabschnitte mit Wurzelbildung
- Zählung der Rhizomabschnitte mit Sprossbildung. Hierbei werden alle Sprosse erfasst, die länger als 10 mm sind, auch wenn sie noch nicht die Oberfläche des Tongranulates durchstoßen haben
- Nach Auflauf der ersten Sprosse wöchentliches Auszählen der oberirdischen Triebe je Pflanzeinheit getrennt nach Zahl der gekeimten Rhizome und nach der Gesamtzahl der Triebe, ohne dabei die Rhizomabschnitte aus den Gefäßen zu entnehmen. Diese 10 Termine sind, wie in Tabelle 15 dargestellt, nicht je Altersstufe der Mutterrhizome bzw. nach Pflanztermin gestaffelt.
- Festhalten sonstiger Auffälligkeiten in Textform
- Fotografische Dokumentation

Tabelle 14: Erhebungstermine der 6 Messungen

Alter	Entnahme	Herstellung	Pflan-	Erhebungstermin						
	aus	Rhizom-		zung						
	Bestand	abschnitte								
2	11.10.	13.10.	14.10.	27.10.	03.11.	18.11.	01.12.	16.12.	12.01.	
4	15.10.	18.10.	19.10.	02.11.	09.11.	24.11.	07.12.	21.12.	19.01.	
7	19.10.	21.10.	22.10.	04.11.	11.11.	25.11.	08.12.	21.12.	20.01.	
Wochen nach Pflanzung				2	3	4	7	9	12	

Tabelle 15: Erhebungstermine der 10 Messungen für oberirdische Parameter

Alter	Pflanzung	Erhebungstermin									
		T 1	T 2	T 3	T 4	T 5	T 6	T 7	T 8	T 9	T 10
		09.11.	18.11.	25.11.	01.12.	07.12.	16.12.	21.12.	04.01.	12.01.	20.01.
		Anzahl Tage zwischen Pflanzung und Erhebungstermin									
2	13.10.	27	36	43	49	55	63	69	83	91	99
4	18.10.	22	31	37	44	50	59	64	78	86	94
7	21.10.	19	28	35	41	48	56	61	75	83	91

5.3 Ergebnisse und Diskussion

5.3.1 Beschreibung der Mutterpflanzen

Bei der Entnahme der Mutterpflanzen wurde darauf geachtet, nur im Pflanzenverband eingebundene Pflanzen mit gleichmäßigem Wuchs auszuwählen. Schon diese Vorselektion könnte die dargestellten Ergebnisse positiv beeinflusst haben, da bei Rodung eines gesamten Miscanthusbestandes auch weniger vitale Pflanzen für die Pflanzguterzeugung benutzt werden.

An jeder der insgesamt 9 Mutterpflanzen wurden die Stängellänge und der Stängeldurchmesser in den drei Höhen 30 cm, 110 cm sowie 190 cm gemessen. In Abbildung 37 ist eine Zusammenfassung der Werte je Altersstufe der Mutterpflanzen dargestellt. Dabei zeigt sich, dass bezüglich der Wuchshöhe und der Stängeldurchmesser keine Unterschiede zwischen den 2- und 4-jährigen Mutterpflanzen bestehen. Die Pflanzen dieser Alterstufen sind im Mittel 267 bzw. 265 cm hoch, der Stängeldurchmesser nimmt von unten nach oben von 9 auf 6 mm ab. Nur die 7-jährigen Mutterpflanzen weisen eine deutlich größere Wuchshöhe von durchschnittlich 327 cm und leicht größere Stängeldurchmesser (unten 10 mm, oben 7 mm) auf.

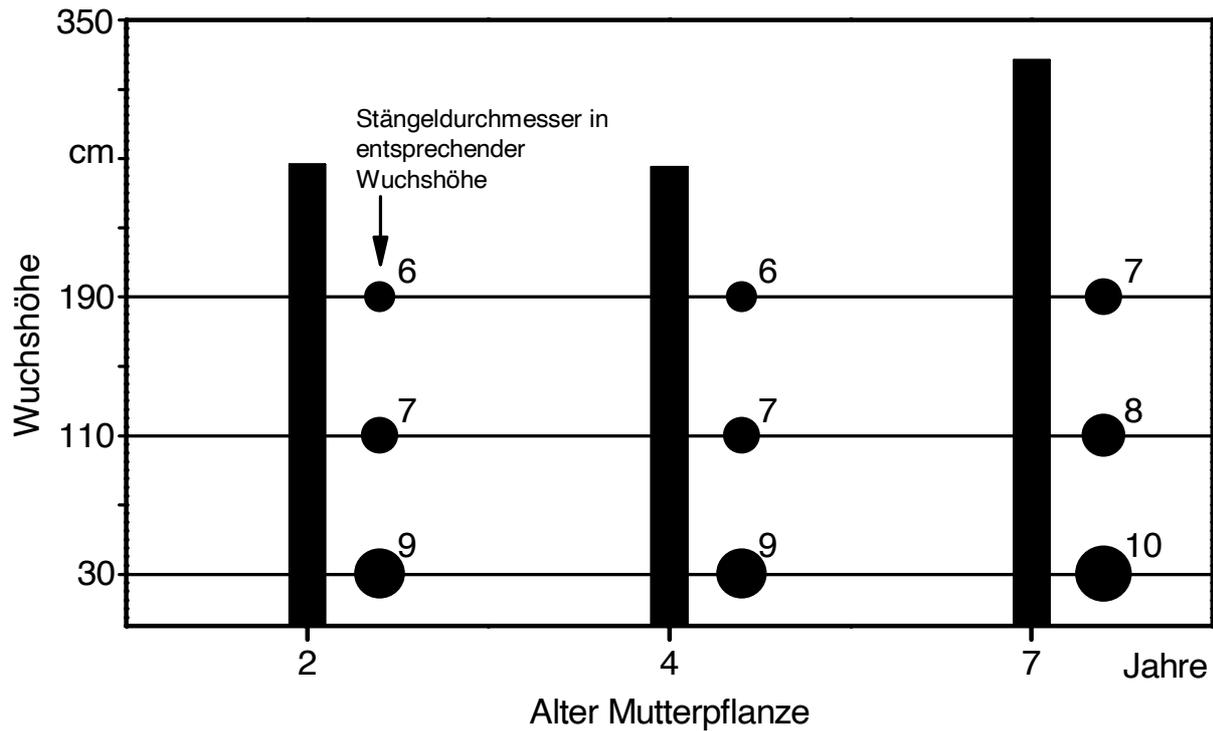


Abbildung 37: Wuchshöhen und Stängeldurchmesser der 2-, 4- und 7-jährigen Mutterpflanzen

Die Frischmasse (FM) des gesamten oberirdischen Aufwuchses der Mutterpflanzen wurde außerdem gewogen, in Stängel und Blätter getrennt und die Trockensubstanzgehalte dieser Masseanteile bestimmt. Die Blatt-Stängel-Verhältnisse der einzelnen Altersstufen der Mutterpflanzen sind in Abbildung 38 für die Frisch- und Trockenmasse, in Relation der durchschnittlichen Massen, dargestellt.

Die 4- und 7-jährigen Mutterpflanzen bringen mit 6,22 bzw. 5,93 kg FM im Vergleich zu den 2-jährigen mit nur 4,19 kg FM deutlich höhere Frischmasseerträge an oberirdischer Biomasse. Bezüglich der Trockenmasse sind die 4-jährigen Mutterpflanzen ertragreicher als die 7-jährigen (vergleiche auch Tabelle 16), allerdings ist bei ihnen das Blatt-Stängel-Verhältnis mit 1 : 2,0 am ungünstigsten, d. h. der Blattanteil ist hier am höchsten. Für die 2-jährigen Mutterpflanzen ist das Blatt-Stängel-Verhältnis mit 1 : 2,9 am günstigsten.

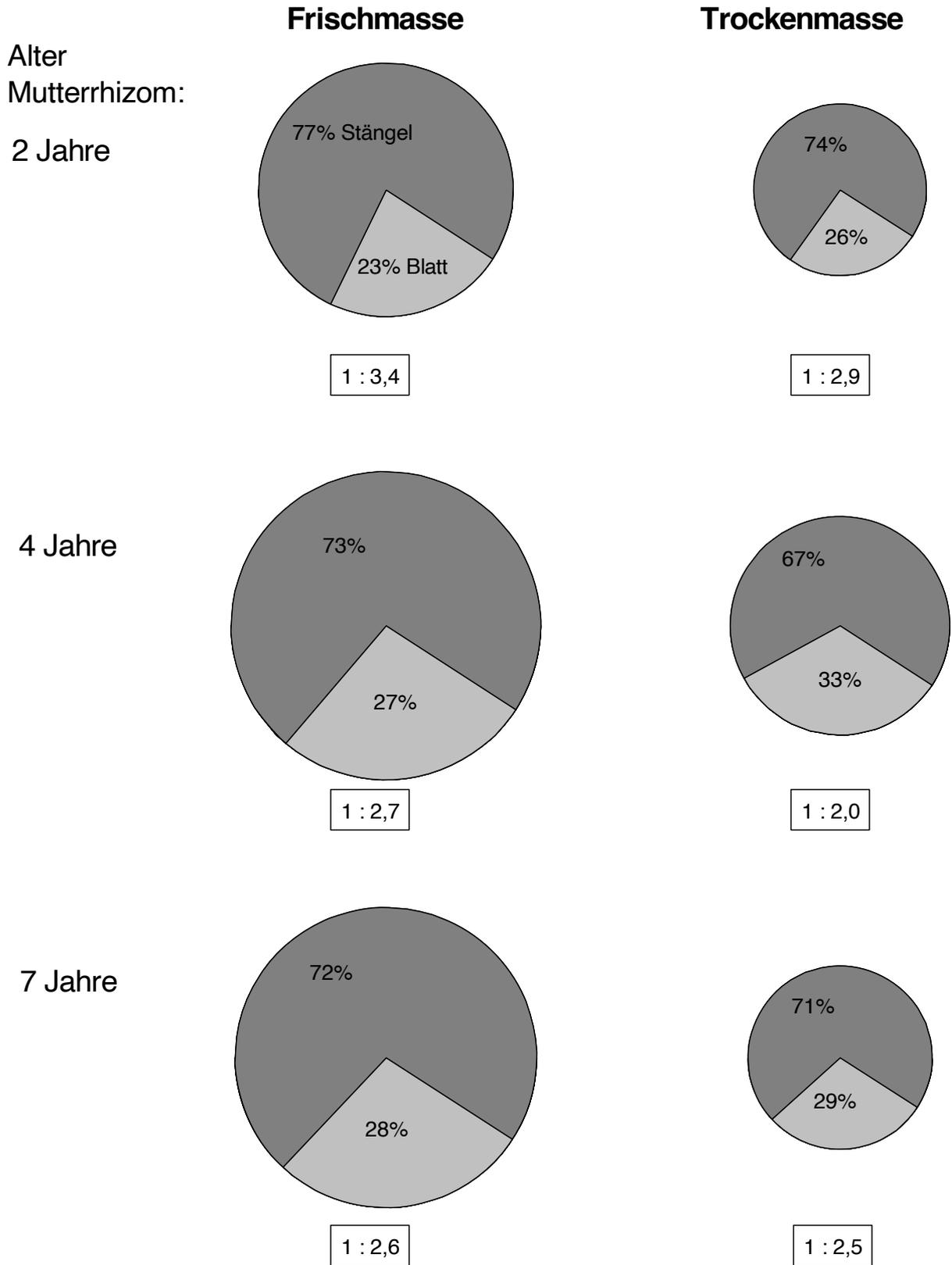


Abbildung 38: Blatt-Stängel-Verhältnisse der Mutterpflanzen

Weitere erfasste Kenngrößen der Mutterpflanzen bzw. Mutterrhizome sind in Tabelle 16 für alle Einzelpflanzen dargestellt. Für jede Altersstufe der Mutterpflanzen sind zusätzlich die Durchschnittswerte angegeben. Die Tiefe der Mutterrhizome schwankt von 13 cm bei einem 2-jährigen bis 23 cm bei einem 4-jährigen Mutterrhizom, ein Zusammenhang zwischen Tiefgang und Alter ist nicht zu erkennen.

Tabelle 16: Kenngrößen der Mutterpflanzen

Pflanze	Rhizomtiefe	Rhizomdurchmesser	Rhizommasse mit Erde	Anzahl Halme	Biomasse oberirdisch
[Alter.Wdh]	[cm]	[cm]	[kg]		[kg TM]
2.1	16	59	28	55	1,94
2.2	13	44	19	29	1,26
2.3	19	58	41	64	2,77
Ø	16	54	29	49	1,99
4.1	16	59	42	68	3,32
4.2	20	57	39	60	3,41
4.3	23	58	47	67	3,35
Ø	20	58	43	65	3,36
7.1	19	48	43	41	1,98
7.2	15	74	80	51	2,42
7.3	15	73	89	35	2,05
Ø	16	65	71	42	2,15

Bezüglich Rhizomdurchmesser und -masse sind die 4-jährigen Mutterrhizome mit 58 cm und 43 kg am homogensten, während bei den 2-jährigen und 7-jährigen Mutterrhizomen auch jeweils ein deutlich kleineres Rhizom mit nur 44 cm bzw. 48 cm Durchmesser und 19 kg bzw. 43 kg Masse vorkommt. In Abbildung 39 werden seitliche Aufnahmen von einem 2-jährigen und einem 7-jährigen Mutterrhizom gezeigt. Das 7-jährige Mutterrhizom ist im Zentrum keilförmig und an den Rändern flacher ausgeprägt, während das 2-jährige Mutterrhizom kompakter wirkt.



Abbildung 39: Seitenansicht eines 2-jährigen (links) und eines 7-jährigen Mutterrhizoms (rechts)

5.3.1.1 2-jährige Mutterrhizome

Zwei der 2-jährigen Mutterrhizome zeigen schon eine deutliche Verkahlung im Innenbereich, in dem keine oder nur vereinzelte Halme wachsen. Bei dem 3. Mutterrhizom kann hingegen kein kahler Innenbereich definiert werden, da alle Halme gleichmäßig über das Rhizom verteilt sind. Für dieses Rhizom wird daher ein 400 cm² großer Bereich aus der Mitte als Innenteil bestimmt. Aus allen Rhizomen werden nur 1- und 2-jährige Abschnitte selektiert.

5.3.1.2 4-jährige Mutterrhizome

Bei den 4-jährigen Mutterrhizomen sind die Halme nicht gleichmäßig über das Rhizom verteilt, sondern auf mehrere Halmbildungsstellen im Außenbereich der Rhizome konzentriert. Die Verkahlung der Innenbereiche ist mit nur vereinzelt vorhandenen Trieben deutlich ausgeprägt und über 400 cm² groß (Abbildung 40). Das Verrotten der Vorjahreshalme erstreckt sich bis in den oberen Rhizomteil, daher wurde bei diesen Rhizomen sehr aufwändig auf gesunde und ausreichend lange Rhizomabschnitte selektiert.



Abbildung 40: 4-jähriges Rhizom: links ein komplettes, gewaschenes Rhizom mit 1-jährigen, grünen Halmen im Außenbereich; rechts ein verkahlter Innenbereich mit nur vereinzelt Halmen

5.3.1.3 7-jährige Mutterrhizome

Auch bei den 7-jährigen Mutterrhizomen sind die Triebe in mehreren Halmbildungszentren konzentriert, Nachschosser unter 1 m Länge traten nur vereinzelt auf. Die deutlich verkahlten Innenbereiche bis 600 cm² Größe sind teilweise stark verrottet (Abbildung 41). Im Vergleich zu den jüngeren Mutterrhizomen mit Werten von 60 bis 70 % beträgt der Masseanteil der Innenbereiche bei den 7-jährigen Mutterrhizomen nur ca. 33 %.



Abbildung 41: 7-jähriges Rhizom: links ein komplettes, gewaschenes Rhizom mit 1-jährigen, grünen Halmen und großen Anteilen an mehrjährigem Rhizommaterial; rechts der Innenbereich mit starken Verbräunungen

5.3.2 Beschreibung der Rhizomabschnitte

Aus jeder Altersstufe der Mutterrhizome und aus jeder Lage innerhalb des Mutterrhizoms werden jeweils 20 Rhizomabschnitte erzeugt. Diese sind beispielhaft für die Altersstufe der 2-jährigen Mutterrhizome in Abbildung 42 dargestellt. Bei den aus dem Außenbereich der Mutterrhizome gewonnenen 1-jährigen Abschnitten ist der Übergang vom Halmgrund in den Rhizombereich deutlich zu erkennen.



Abbildung 42: Rhizomabschnitte aus einem 2-jährigen Mutterrhizom: links 1-jährig außen, Mitte 2-jährig außen, rechts 2-jährig innen

In Abbildung 43 werden einige Qualitätsmerkmale der erzeugten Rhizomabschnitte wie die Anzahl der Augen und die Spannen des minimalen und maximalen Durchmessers dargestellt. Auffällig ist die hohe Anzahl Augen bei den Rhizomabschnitten der 2-jährigen Mutterrhizome, die Rhizomabschnitte 1-jährig außen haben im Mittel insgesamt ca. 8 Augen, die anderen Lagen ca. 6

bzw. 4 Augen insgesamt. Die kleinsten und größten Durchmesser sowie die Spanne zwischen diesen Werten sind bei diesen Rhizomabschnitten am geringsten, die Rhizomabschnitte 2-jährig außen aus den 4-jährigen Mutterrhizomen haben die größten Durchmesser. Bei den 7-jährigen Rhizomabschnitten wird die höchste Anzahl großer Augen festgestellt, aus der Lage 1-jährig außen im Durchschnitt ca. 4 je Abschnitt. Insgesamt kann festgehalten werden, dass dieses Pflanzgut als qualitativ gut einzustufen ist, da jeder Abschnitt mehrere Augen aufweist.

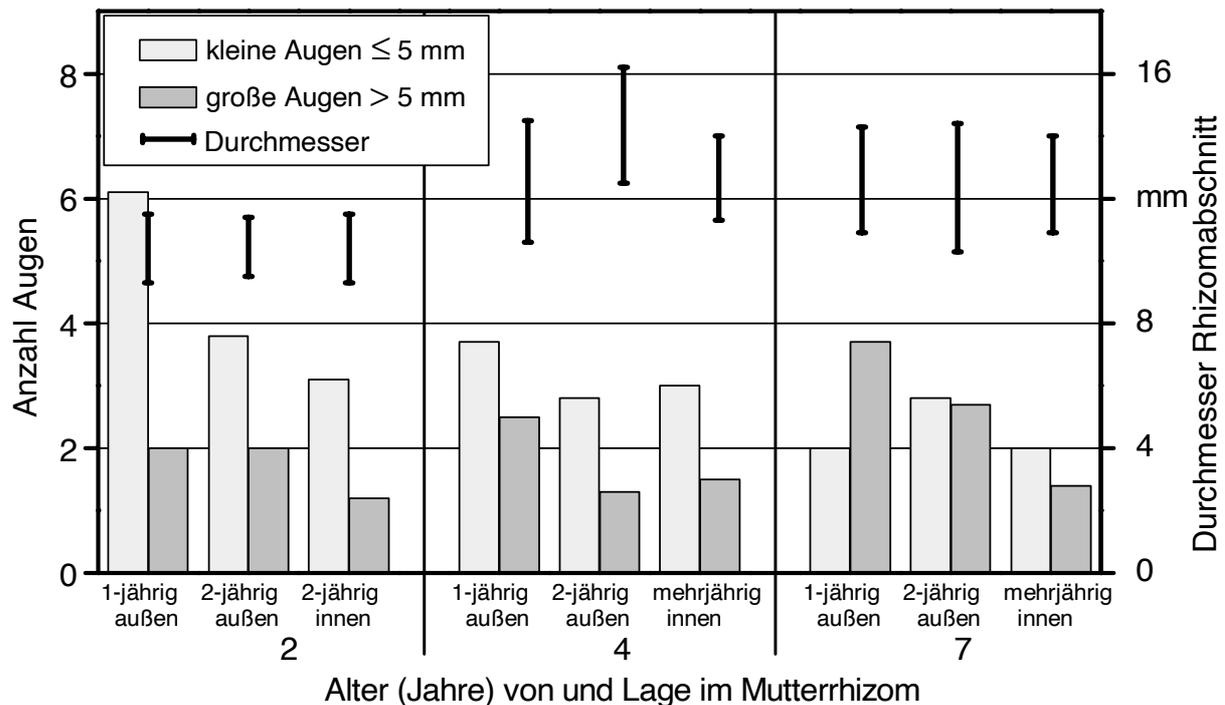


Abbildung 43: Anzahl kleiner und großer Augen sowie Durchmesserspannen der Rhizomabschnitte

5.3.3 Austriebsverhalten der Rhizomabschnitte

5.3.3.1 Anzahl gekeimter Augen an den Rhizomabschnitten

Ab einer Augenlänge von 1 cm wird ein Auge als gekeimt gewertet. Während der Versuchsdauer ist ein stetiger Auf- und Umbau an den unterirdischen Sprossen zu erkennen: bereits gekeimte Augen werden wieder eingezogen, neue Augen bilden sich.

An den Rhizomabschnitten aus den **2-jährigen Mutterrhizomen** kann man eine leichte Heterogenität je nach ursprünglicher Lage feststellen (Abbildung 44). Für die Rhizomabschnitte 1-jährig außen steigt die Zahl gekeimter Augen fast stetig an, um sich am Versuchsende bei durchschnittlich 33 gekeimten Augen, verteilt auf 20 Abschnitte, einzupendeln. Die Abschnitte 2-jährig außen liegen dauerhaft über 30 gekeimten Augen, am vorletzten Termin, 9 Wochen nach der Pflanzung, werden sogar kurzzeitig 41 gekeimte Augen gezählt. An den Abschnitten 2-jährig innen wird ein leichter Rückgang der gekeimten Augen von 31 auf 26 festgestellt, die Keimung ist ab dem 4. Termin signifikant schlechter als bei den Abschnitten der beiden anderen Lagen. Für die Rhi-

zomabschnitte der jüngsten, also 2-jährigen Mutterrhizome kann festgehalten werden, dass 12 Wochen nach der Pflanzung durchschnittlich je Rhizomabschnitt 1,57 Augen keimen.

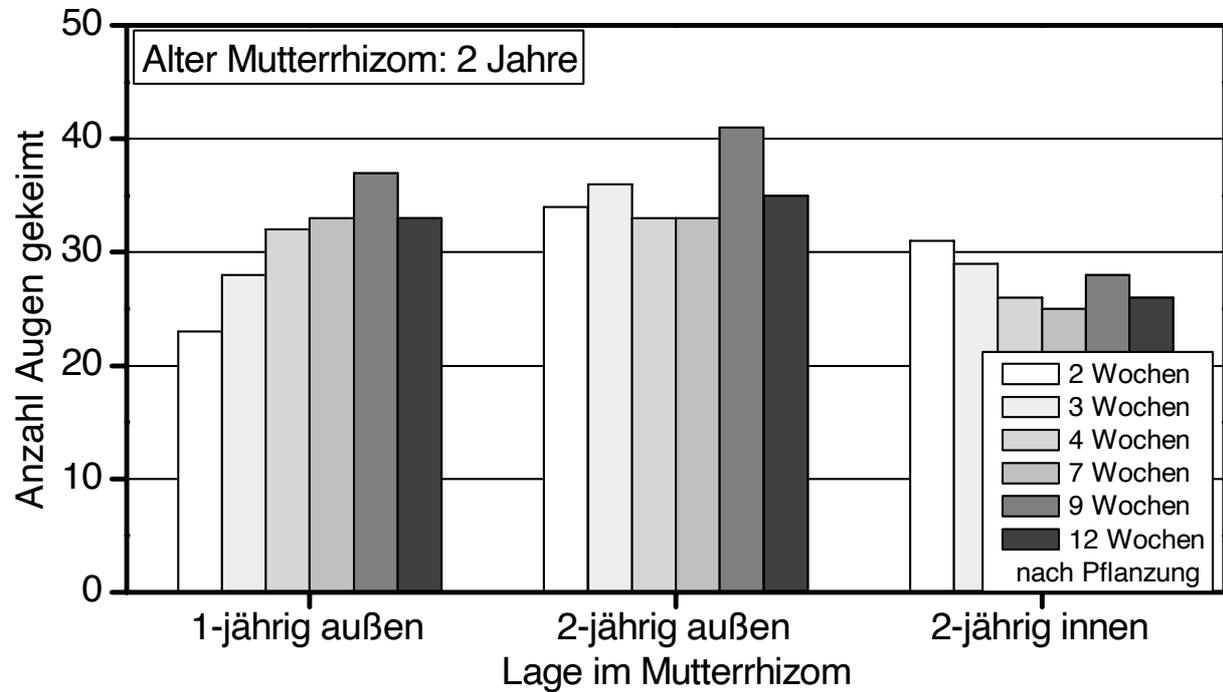


Abbildung 44: Anzahl gekeimter Augen an den Rhizomabschnitten aus 2-jährigen Mutterrhizomen über eine Versuchsdauer von 12 Wochen nach der Pflanzung

Auffällig an den Zählungen an den Rhizomabschnitten der **4-jährigen Mutterrhizome** ist die hohe Zunahme gekeimter Augen zwischen der 9. und 12. Woche nach der Pflanzung (Abbildung 45). Für Abschnitte der Lagen 2-jährig außen und mehrjährig innen werden insgesamt je 39 gekeimte Augen, entsprechend einer Keimrate von 1,95 Augen je Abschnitt erreicht. Schon zum 1. Erhebungstermin nach 2 Wochen sind jeweils über 30 Augen an insgesamt 20 Rhizomabschnitten gekeimt. Allerdings sinken diese Werte im Laufe des Versuchs wieder ab, teilweise auf nur noch 21 gekeimte Augen. Für diese Rhizomabschnitte werden daher umfangreiche Umstrukturierungen vermutet, bei denen bereits gekeimte Augen wieder zeitweise stillgelegt werden und die die maximale Keimrate zeitlich verzögern. Insgesamt wird mit durchschnittlich 1,82 gekeimten Augen je Rhizomabschnitt der höchste Wert je Altersstufe Mutterrhizom erreicht.

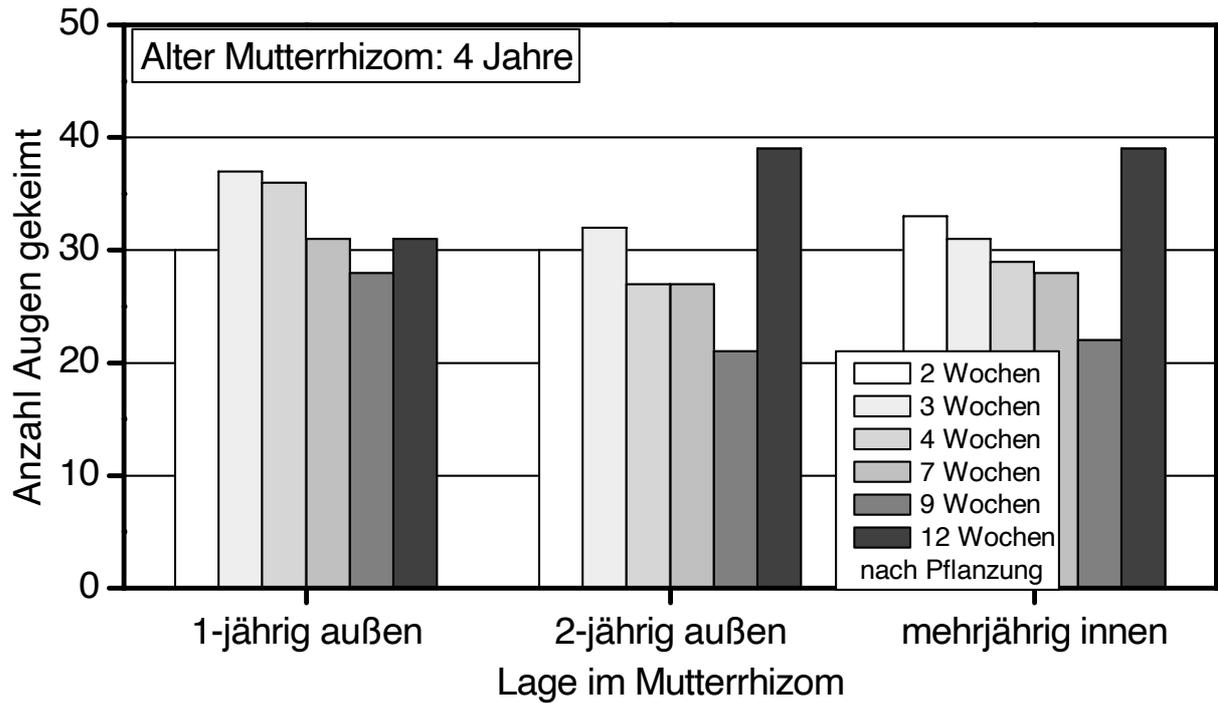


Abbildung 45: Anzahl gekeimter Augen an den Rhizomabschnitten aus 4-jährigen Mutterrhizomen über eine Versuchsdauer von 12 Wochen nach der Pflanzung

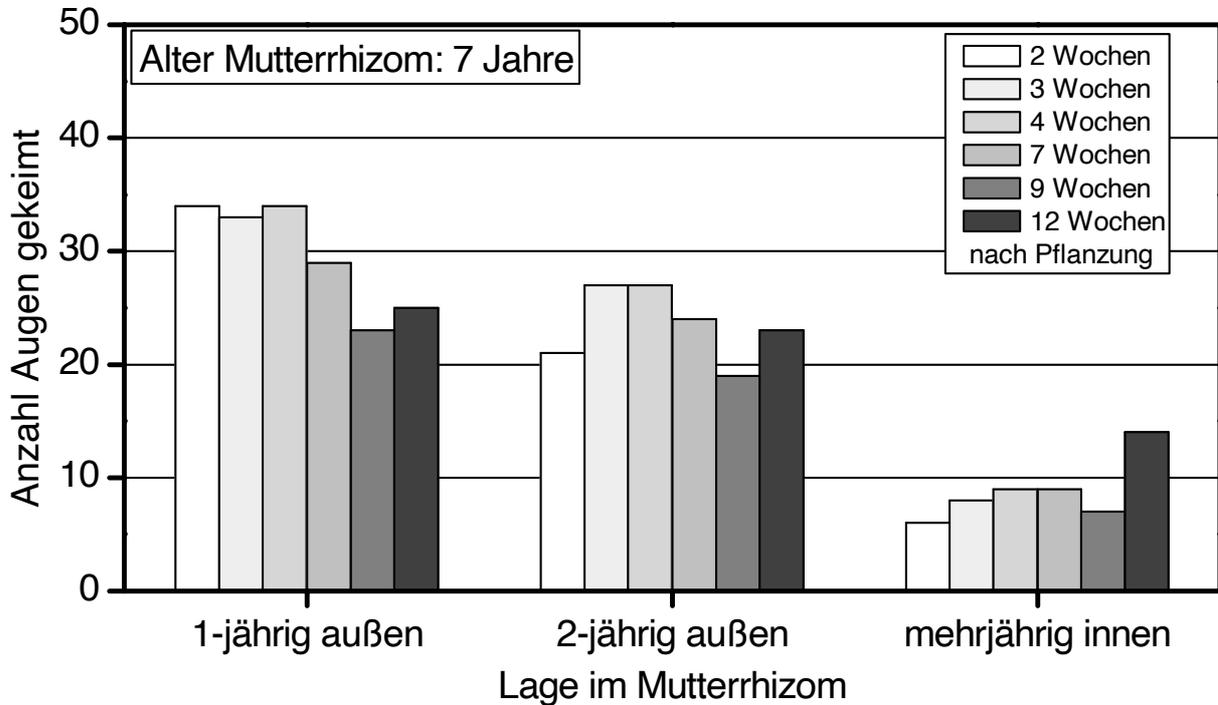


Abbildung 46: Anzahl gekeimter Augen an den Rhizomabschnitten aus 7-jährigen Mutterrhizomen über eine Versuchsdauer von 12 Wochen nach der Pflanzung

Bei der 1. Zählung an den Rhizomabschnitten der **7-jährigen Mutterrhizome** ist für die Lage 1-jährig außen mit 34 die höchste Anzahl gekeimter Augen für insgesamt 20 Abschnitte zu erkennen (Abbildung 46). Dieser Wert bleibt während der ersten 4 Wochen nahezu konstant, danach fällt die Anzahl gekeimter Augen auf 25, zeitweise sogar nur 23, ab. Auch bei den Rhizomabschnitten 2-jährig außen steigt und fällt die Anzahl im Versuchsverlauf, nach 12 Wochen werden 23 gekeimte Augen festgestellt. Die Rhizomabschnitte aus dem mehrjährigen Innenbereich haben nur ein sehr geringes Keimvermögen, die Anzahl steigert sich von 6 über zeitweise 9, dann wieder 7 auf abschließend 14 gekeimte Augen. Selbst dieser letzte Wert entspricht nur einer Keimrate von durchschnittlich 0,7 Augen je Rhizomabschnitt, bzw. nur 70% gekeimter Rhizomabschnitte. Die alten, 7-jährigen Mutterrhizome liefern Pflanzgut, das nach 12 Wochen Wachstumszeit durchschnittlich nur 1,03 gekeimte Augen je Abschnitt hervorbringt.

5.3.3.2 Anzahl nicht gekeimter Augen an den Rhizomabschnitten

Analog zu den gekeimten Augen wurden Augen als nicht gekeimt gezählt, wenn diese im Längenwachstum entweder kleiner als 1 cm waren oder noch keine Reaktion (schlafendes Auge) zeigten. Bis auf wenige Ausnahmen geht die Anzahl nicht gekeimter Augen von Termin zu Termin kontinuierlich zurück (Abbildung 47). Diese Abnahme ist deutlicher als die Zunahme gekeimter Augen (vergleiche 5.3.3.1). Der Grund hierfür ist der permanente Umbauprozess während der Versuchsdauer, etliche schlafende Augen werden rückgebildet und verschwinden.

Die mit Abstand höchste Anzahl an schlafenden Augen wurde zu allen Erhebungsterminen bei den Rhizomabschnitten 1-jährig außen der **2-jährigen Mutterrhizome** gefunden. Zwei Wochen nach der Pflanzung wurden durchschnittlich 144 ungekeimte Augen, verteilt auf 20 Abschnitte, festgestellt, zum letzten Termin nach 12 Wochen immerhin noch 108. Die Zahl der ungekeimten Augen nimmt von der Lage 1-jährig außen über 2-jährig außen nach 2-jährig innen kontinuierlich ab, für die beiden letzteren werden zu Versuchsende 64 bzw. 54 ungekeimte Augen gezählt.

Auch bei den Rhizomabschnitten aus den **4-jährigen Mutterrhizomen** nimmt die Zahl der ungekeimten Augen für alle Lagen über die Versuchsdauer signifikant ab. 12 Wochen nach der Pflanzung werden noch 75 ungekeimte Augen für 1-jährig außen, 53 für 2-jährig außen und 58 für mehrjährig innen gezählt. Hier verwundert, dass die Rhizomabschnitte 2-jährig außen etwas schlechter abschneiden als die Abschnitte aus dem mehrjährigen Innenbereich, dieser Unterschied ist allerdings nicht signifikant.

Für die Rhizomabschnitte aus den **7-jährigen Mutterrhizomen** werden für die Lage 2-jährig außen mit 118 die zweithöchste Anzahl ungekeimter Augen im gesamten Versuch gezählt, für die Lage 1-jährig außen die dritthöchste mit 105. In allen drei Lagen reduziert sich die Augenzahl dramatisch auf 77 für 1-jährig außen, 72 für 2-jährig außen und 52 für mehrjährig innen. Bei den restlichen drei Terminen reduziert sich die Zahl über alle drei Lagen von außen nach innen. Signifikanz besteht nur von 2-jährig außen zu mehrjährig innen.

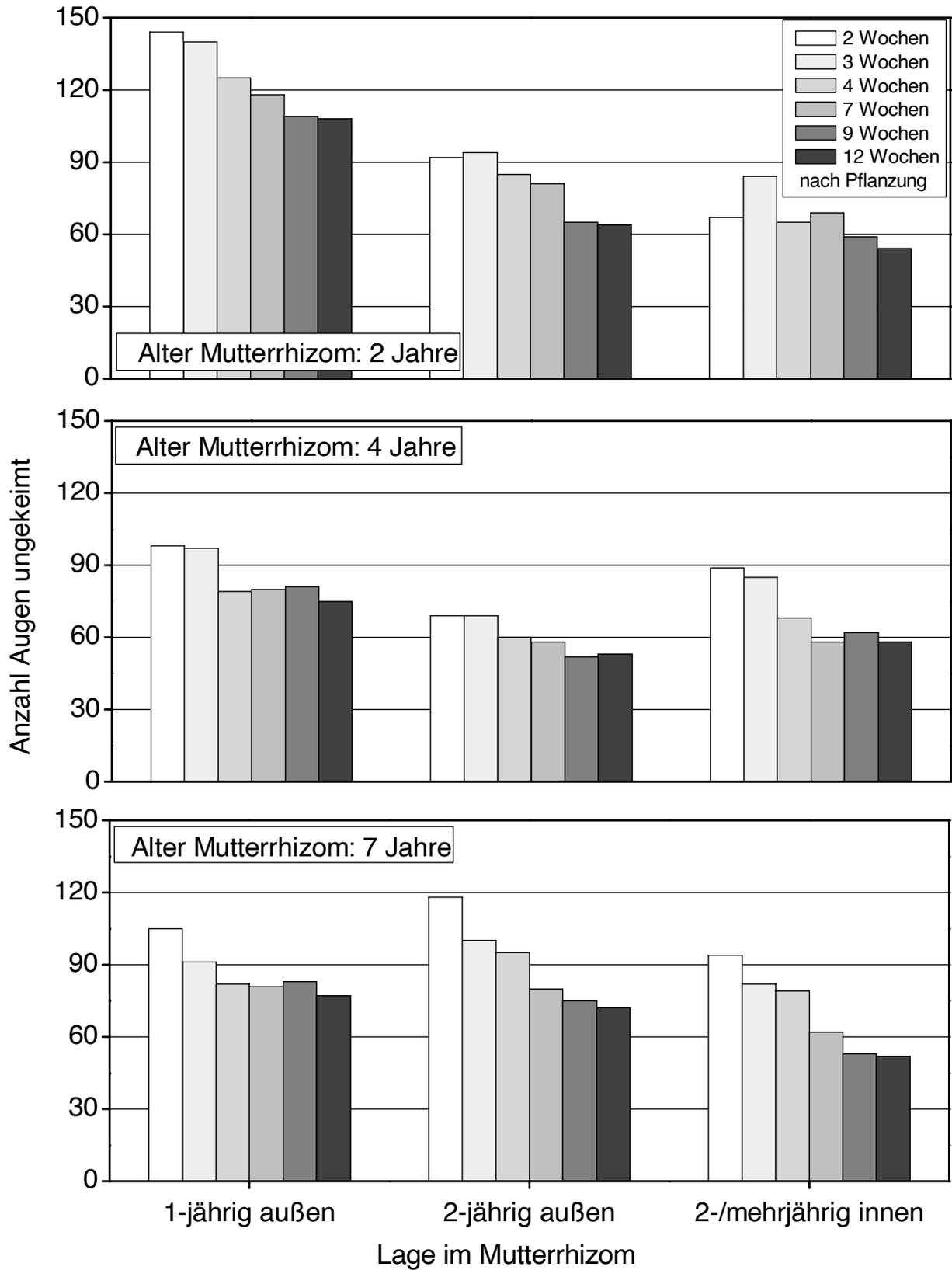


Abbildung 47: Anzahl ungekeimter Augen an den Rhizomabschnitten aus 2-, 4- und 7-jährigen Mutterrhizomen über eine Versuchsdauer von 12 Wochen nach der Pflanzung

Die Rhizomabschnitte aller Altersstufen und Lagen zeigen mit der relativ hohen Anzahl vorhandener, ungekeimter Augen zu Versuchsende noch ein großes Potenzial für weiteren Austrieb. In allen Altersstufen der Mutterrhizome enthalten die Abschnitte aus dem 1-jährigen Außenbereich die mit weitem Abstand höchste Anzahl dieser Augen, und sind daher am besten zu bewerten.

5.3.3.3 Wurzelbildung an den Rhizomabschnitten

Für die Rhizomabschnitte aller drei Altersstufen ist das Wurzelwachstum der im äußeren Bereich des Mutterrhizoms entnommenen Abschnitte höher, jedoch nehmen im Verlauf der Messreihe die Unterschiede sowohl zwischen den Lagen als auch zwischen den Altersstufen ab. Die Rhizomabschnitte 1-jährig außen von 4-jährigen Mutterrhizomen sind ab dem ersten Termin 2 Wochen nach der Pflanzung zu 100 % bewurzelt und zeigen damit die beste Wurzelbildung. Zum letzten Termin, 12 Wochen nach der Pflanzung, sind auch die Abschnitte 1-jährig außen der zwei Jahre alten Mutterrhizome komplett bewurzelt (Abbildung 48). Die aus den 7-jährigen Mutterrhizomen gewonnenen Abschnitte sind entsprechend ihrer Ursprungslage sehr heterogen und deutlich schlechter. Die Abschnitte mehrjährig innen zeigen zum ersten Termin 28,3 %, zum letzten Termin nur zu 56,7 % Wurzelbildung. Insgesamt wird für das Pflanzgut aus den verschiedenen Altersstufen der Mutterrhizome folgende relative Wurzelbildung beobachtet: 93,3 % für die 2-jährigen, 96,1 % für die 4-jährigen und durchschnittlich nur 82,8 % für die 7-jährigen Mutterrhizome. Bei vereinzelt Rhizomabschnitten kommt es zur Ausbildung oberirdischer Triebe ohne parallel dazu verlaufende Wurzelbildung, diese wären bei längerer Versuchsdauer nicht lebensfähig.

Die Rhizomabschnitte aus den 2-jährigen Mutterrhizomen zeigen ein recht homogenes Wurzelbildungsvermögen. Die anfangs gekappten Wurzelreste treiben an den Spitzen neu aus, schon 3 Wochen nach der Pflanzung sind bis zu 12 cm lange neue Wurzeln mit Seitenwurzeln vorhanden. Bis zum Ende der Messperiode werden Wurzeln von bis zu 60 cm Länge mit bis 20 cm langen Verzweigungen erreicht. Die Wurzelbildung der Rhizomabschnitte von 4 Jahre alten Mutterrhizomen verhält sich sehr ähnlich zu denen der 2-jährigen. Mit bereits bis 15 cm langen neuen Wurzeln nach 3 Wochen ist das Wurzelwachstum anfangs etwas schneller. Zum Ende der Erhebungen werden Wurzeln bis 60 cm Länge und Seitenwurzeln von 4 cm erreicht.

Nicht so einheitlich für alle drei Lagen zeigen sich die Rhizomabschnitte aus den 7-jährigen Mutterrhizomen, besonders jene aus dem Innenbereich zeigen ein stark vermindertes Wurzelwachstum. Zum zweiten Termin sind nur wenige kurze, dicke Wurzeln vorhanden, die maximale Wurzellänge beträgt nur 35 cm, die Seitenwurzeln sind nur bis zu 7 cm lang.

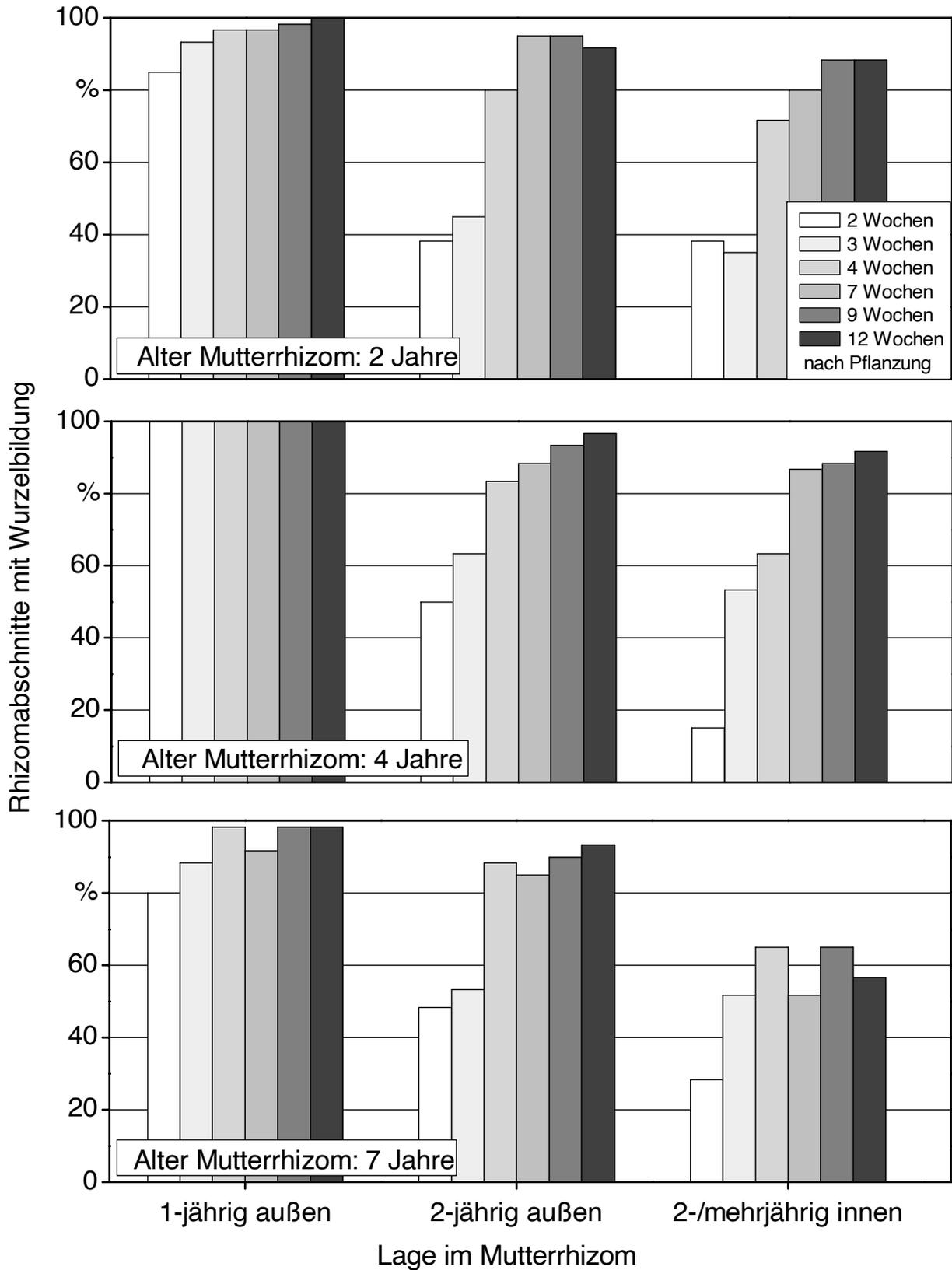


Abbildung 48: Anteil Rhizomabschnitte mit Wurzelbildung aus 2-, 4- und 7-jährigen Mutterrhizomen über eine Versuchsdauer von 12 Wochen nach der Pflanzung

5.3.3.4 Sprossbildung an den Rhizomabschnitten

Da für diese Erhebungen die Rhizomabschnitte ausgegraben wurden, konnten alle Triebe, die länger als 10 mm waren, für diese Messungen berücksichtigt werden, unabhängig davon, ob sie die Substratoberfläche durchstoßen hatten oder nicht. Daher können diese Werte nicht für eine Abschätzung des Feldaufgangs herangezogen werden, für diese Information wird auf Kapitel 5.3.3.6 verwiesen. Bereits zum 3. Termin sind teilweise Triebe mit 3 bis 5 cm Länge vorhanden, die teilweise wieder absterben und durch neue ersetzt werden. Dieser Prozess des kontinuierlichen Um- und Aufbaus wird bis zum Versuchsende beobachtet und führt bei den Rhizomabschnitten 1-jährig außen der 7-jährigen Mutterrhizome sogar zu einem Rückgang im Laufe des Versuchs.

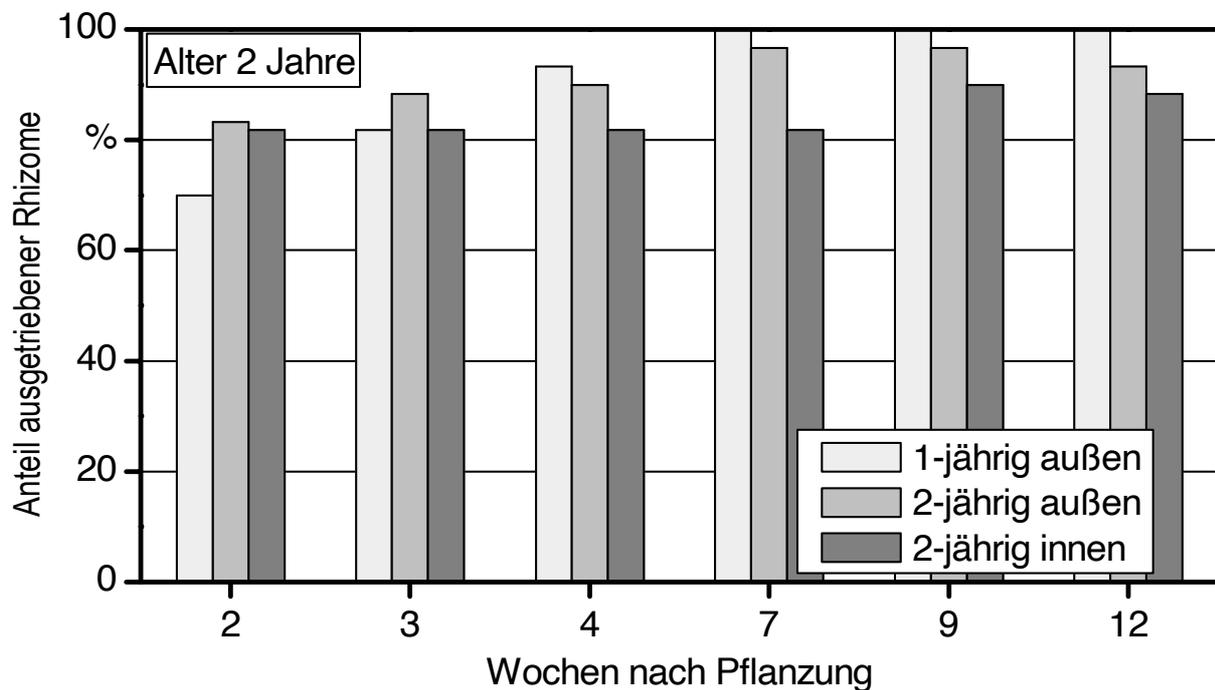


Abbildung 49: Anteil ausgetriebener Rhizomabschnitte aus 2-jährigen Mutterrhizomen über eine Versuchsdauer von 12 Wochen nach der Pflanzung

Die Rhizomabschnitte aus den **2-jährigen Mutterrhizomen** haben das höchste Sprossbildungsvermögen: die 1-jährig außen gelegenen Abschnitte bilden nach 12 Wochen Versuchsdauer zu 100 % Sprosse, die 2-jährig außen gelegenen zu 93,3 % und die 2-jährig innen gelegenen zu 88,3 %. Interessant ist die schon für dieses junge Pflanzgut deutliche Abnahme der Triebkraft von außen nach innen. Für Pflanzgut aus 2-jährigen Mutterrhizomen kann man durchschnittlich eine maximale Sprossbildung von 93,9 % annehmen (Abbildung 49).

Bei den Rhizomabschnitten aus den **4-jährigen Mutterrhizomen** liegt die durchschnittliche Sprossbildungsrate bei 91,1 %. Aus keiner Lage bilden wirklich alle getesteten Rhizomabschnitte Sprosse. Nach 12 Wochen haben 98,3 % der 1-jährig außen, 88,3 % der 2-jährig außen und 86,7 % der mehrjährig innen gelegenen Abschnitte Sprosse (Abbildung 50). Bei diesem Pflanzgut ist auffällig, dass zum 1. Termin, nur 2 Wochen nach der Pflanzung, aus allen Lagen schon um

die 80 % der Abschnitte Sprosse haben. Diese Verteilung ist bei den 2-jährigen Mutterrhizomen nicht so homogen.

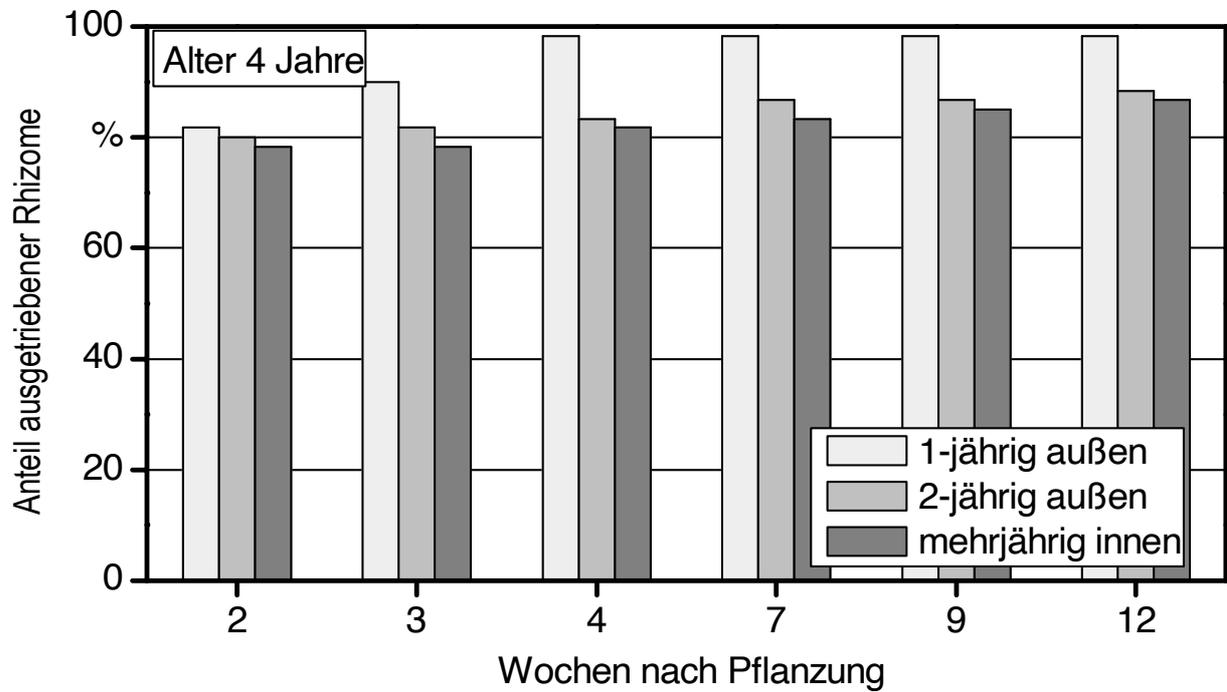


Abbildung 50: Anteil ausgetriebener Rhizomabschnitte aus 4-jährigen Mutterrhizomen über eine Versuchsdauer von 12 Wochen nach der Pflanzung

Die **7-jährigen Mutterrhizome** liefern auch im Bezug auf die Fähigkeit zur Sprossbildung ein schlechteres und inhomogeneres Pflanzgut, durchschnittlich bilden nur 68,9 % der Rhizomabschnitte nach 12 Wochen Sprosse aus (Abbildung 51). Wie schon oben erwähnt, nimmt die Anzahl der Abschnitte mit Spross für die Rhizomabschnitte 1-jährig außen zuerst von 85 % auf 95 % zu, um im weiteren Versuchsverlauf wieder auf 86,7 % abzusinken. Für die Lagen 2-jährig außen und mehrjährig innen werden am Versuchsende 81,7 % bzw. sogar nur 38,3 % Abschnitte mit Spross gezählt. Dies zeigt die dramatische Verschlechterung der Triebkraft der Rhizomabschnitte von der Lage außen im Mutterrhizom nach innen.

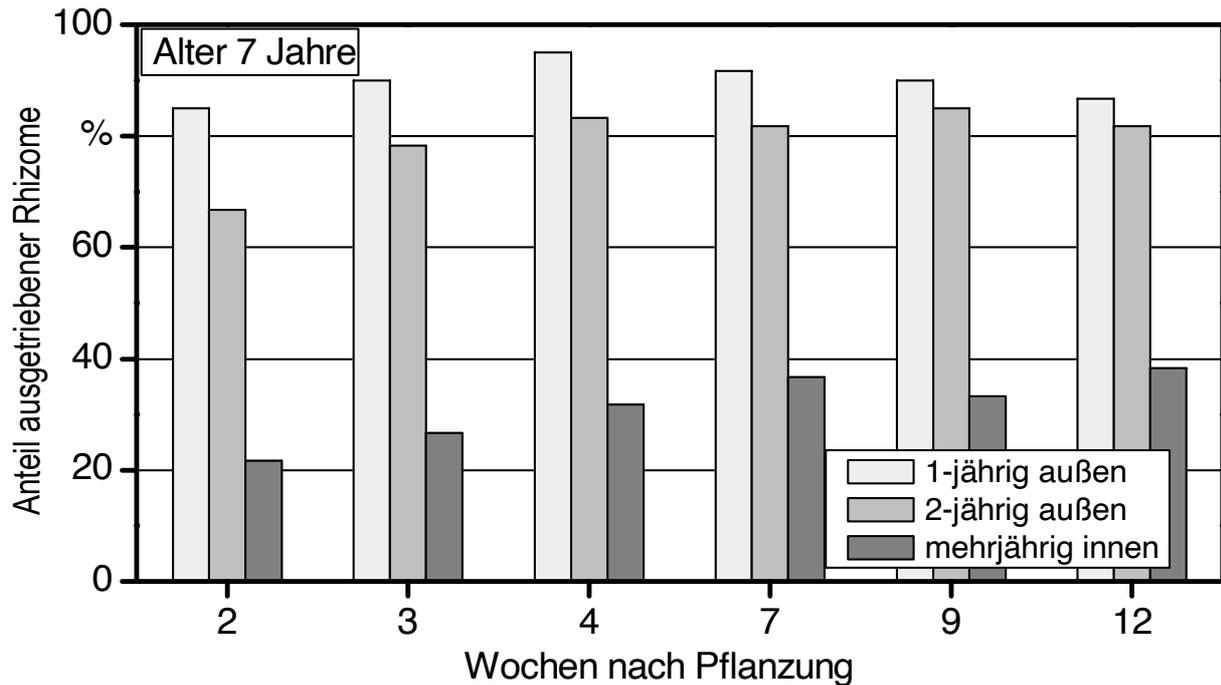


Abbildung 51: Anteil ausgetriebener Rhizomabschnitte aus 7-jährigen Mutterrhizomen über eine Versuchsdauer von 12 Wochen nach der Pflanzung

5.3.3.5 Sprosslänge

Zusätzlich zur reinen Zählung der Rhizomabschnitte mit Sprossbildung wurden die Sprosse vermessen. In Abbildung 52 werden nur die ermittelten Längen des jeweils längsten Sprosses eines Abschnitts dargestellt, da die Werte zu den kürzesten Sprossen sowie die Durchmesserwerte wenig aufschlussreich sind. Von dem ersten bis zum letzten Termin nimmt das Längenwachstum in allen Gruppen kontinuierlich zu.

Auch bezüglich der Sprosslänge zeigt sich ein leichter Abfall der 2-jährig außen gelegenen Rhizomabschnitte gegenüber den 1-jährig außen gelegenen aus den 2-jährigen Mutterrhizomen. Ansonsten wird für alle Lagen der Rhizomabschnitte aus den 2- und 4-jährigen Mutterrhizomen zu Versuchsende eine maximale Länge von knapp 400 mm und darüber gemessen. Für die Rhizomabschnitte der ältesten Mutterrhizome zeigt sich eine sehr starke Abweichung, die in diesem Umfang bei den anderen Merkmalen nicht festgestellt wurde. Die maximalen Sprosslängen betragen für die Abschnitte 1-jährig außen und 2-jährig außen jeweils 212 mm, für die Abschnitte mehrjährig innen sogar nur 120 mm. Man kann also festhalten, dass auch die 1-jährigen Rhizomabschnitte aus den 7-jährigen Mutterrhizomen zwar bezüglich der Augenzahl, Wurzel- und Sprossbildung nicht gravierend von denen der anderen Altersstufen abweichen, die Wuchskraft der Sprosse allerdings deutlich vermindert ist, was einen bedeutenden Nachteil für die Neuanlage von Miscanthusbeständen darstellt.

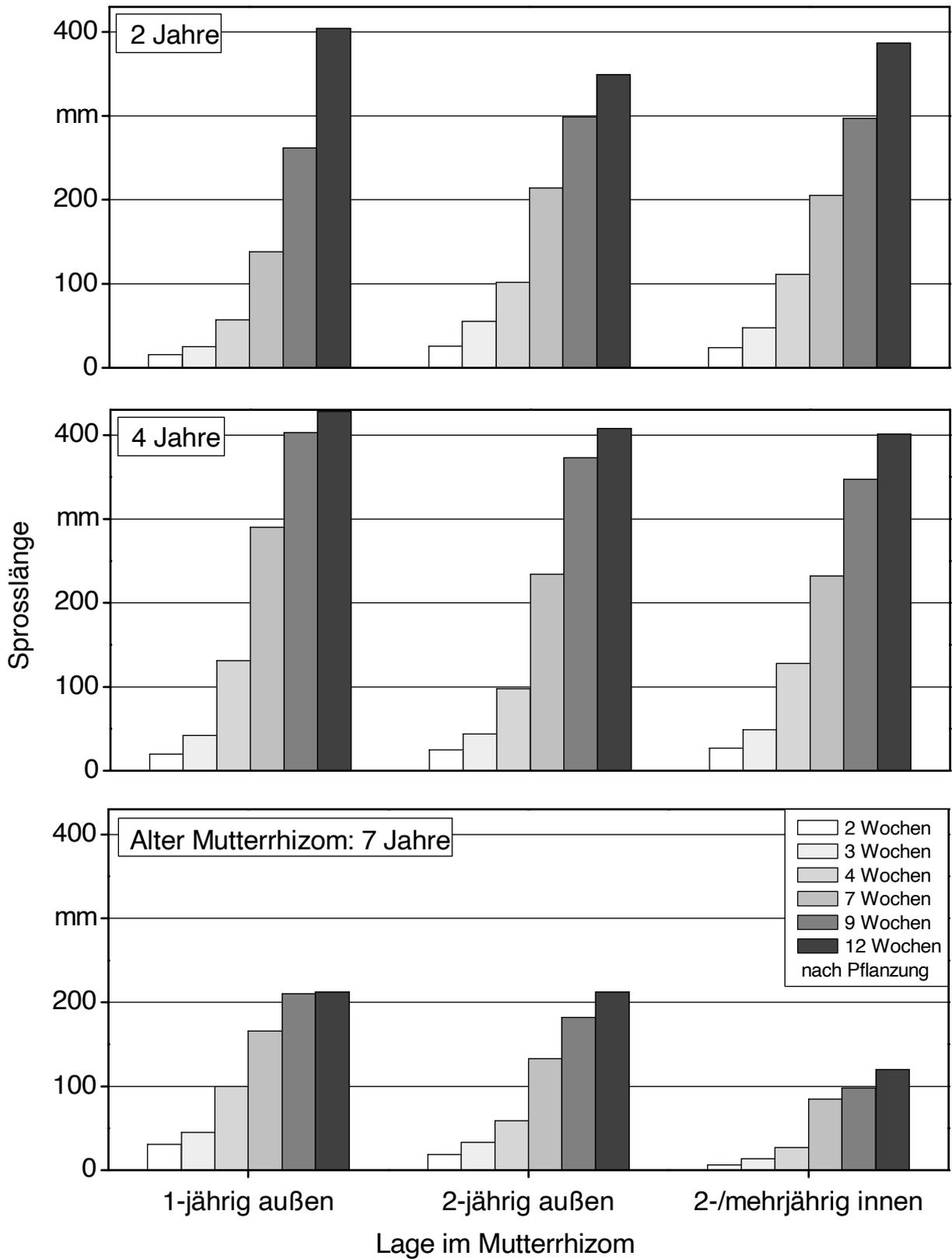


Abbildung 52: Längenentwicklung von Sprossen aus Rhizomabschnitte aus 2-, 4- und 7-jährigen Mutterrhizomen über eine Versuchsdauer von 12 Wochen nach der Pflanzung

5.3.3.6 Rhizomabschnitte mit oberirdischen Sprossen – Abschätzung des Feldaufgangs

Im Gegensatz zu den vorhergehenden Erhebungen wurden die hier dargestellten Daten an anderen Terminen, etwa im wöchentlichen Abstand, ermittelt. Diese Termine waren nicht an die verschiedenen Pflanztermine der Mutterrhizom-Altersgruppen angepasst, so dass Teilbereiche aus den 2-jährigen Mutterrhizomen die längste und jene aus 7-jährigen die kürzeste Wachstumszeit vor jedem Termin hatten. Dieser Unterschied beträgt über die gesamte Versuchsdauer 8 Tage (Tabelle 15), zur Altersgruppe der 4-jährigen Mutterrhizome je 4 Tage.

Erhoben wurden bei dieser gesonderten Zählung nur die Anzahl Rhizomabschnitte mit oberirdischen, grünen Sprossen. Dafür wurden die Pflanzabschnitte nicht wie bei den anderen Messungen aus den Gefäßen ausgegraben, sondern nur in Draufsicht durchgezählt. Außerdem wurde auch die Anzahl der Sprosse je Rhizomabschnitt festgehalten, da diese jedoch nur in Ausnahmefällen größer als 1 war, wird auf die Darstellung dieser Ergebnisse verzichtet.

Die hier ermittelte Kenngröße zum oberirdischen Aufwuchs erlaubt einen Rückschluss auf die erzielbaren pflanzgutbedingten Bestandesdichten bzw. Fehlstellen, die bei einer Neuanpflanzung mit Teilstücken aus verschiedenen alten Mutterrhizombeständen unvermeidbar und daher zu erwarten sind.

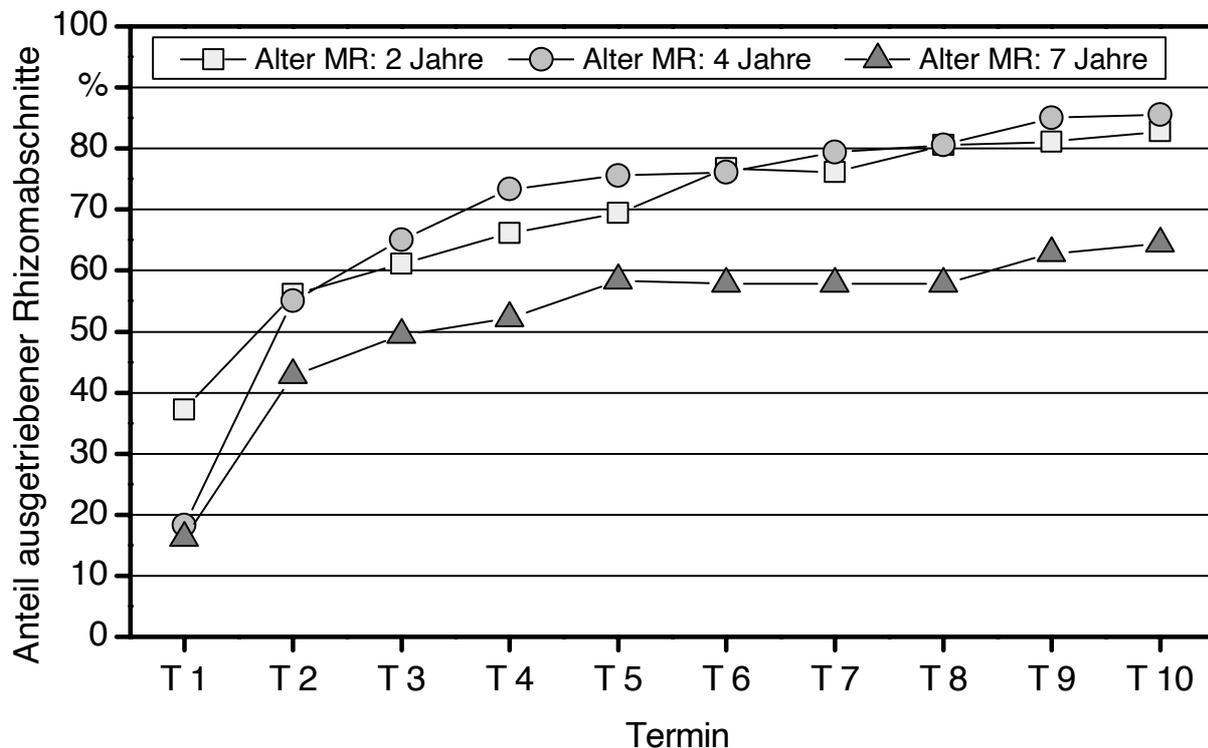


Abbildung 53: Anteil mit oberirdischen Sprossen ausgetriebener Rhizomabschnitte aus 2-, 4- und 7-jährigen Mutterrhizomen über eine Versuchsdauer von 91 bis 99 Tagen

Bei einer ersten Gegenüberstellung der Rhizomabschnitte der unterschiedlichen Altersgruppen von Mutterrhizomen ergibt sich, gemittelt über die ursprüngliche Lage im Mutterrhizom, das in Abbildung 53 dargestellte Bild. Zum ersten Termin, knapp 4 Wochen nach der Pflanzung, werden an fast 40 % der Abschnitte aus den 2-jährigen Mutterrhizomen oberirdische Sprosse festgestellt. Zum zweiten Termin haben die Teilstücke aus den 4-jährigen Mutterrhizomen den Zeitvorsprung der 2-jährigen eingeholt, beide Altersstufen liegen nun bei etwa 55 % ausgetriebener Rhizomabschnitte. Im Mittel der 7-jährigen Rhizomabschnitte werden nur knapp über 40 % erreicht. Bis zum Ende der Erhebungen steigern sich die Anteile ausgetriebener Rhizomabschnitte auf durchschnittlich 82,8 % für die 2-jährigen, 85,6 % für die 4-jährigen und 64,4 % für das 7-jährige Ausgangsmaterial. Damit ergibt sich schon für die triebfreudigeren Rhizomabschnitte aus den beiden jüngeren Muttergruppen ein maximal möglicher Feldaufgang von 83 bis 86 %. Umgekehrt sind also 14 bis 17 % Fehlstellen im Neubestand unvermeidbar, bei Pflanzmaterial aus 7-jährigen Beständen sogar bis zu 35 % Fehlstellen.

Für einen genaueren Qualitätsvergleich werden die Anteile ausgetriebener Abschnitte für die Altersstufen der Mutterrhizome und für die verschiedenen Lagen im Mutterrhizom getrennt dargestellt (Abbildung 54). Dabei zeigt sich, außer während der ersten beiden Erhebungstermine, ein relativ unerheblicher Unterschied von maximal 15 Prozentpunkten zwischen den Ursprungslagen bei den Rhizomabschnitten aus dem zweijährigen Ausgangsmaterial. Für die Rhizomabschnitte aus 4-jährigen Mutterrhizomen ergibt sich eine klar höhere Triebkraft für die Lage 1-jährig außen, die zu Versuchsende mit einem Anteil von 95 % ausgetriebener Abschnitte das beste Ergebnis bringt. Die größte Heterogenität wird, wie auch bei anderen Zielgrößen, bei den Teilstücken aus den 7-jährigen Mutterrhizomen beobachtet. Die Rhizomabschnitte aus dem mehrjährigen Innenbereich zeigen nur eine äußerst schwache Bildung oberirdischer Sprosse, die nach Stagnation über mehrere Termine nur noch schwach bis auf 36,7 % zunimmt. Dies entspricht der Beobachtung, dass Miscanthusrhizome im Innenbereich im Laufe der Zeit verkahlen. Aufgrund der Stagnation und der höheren Anteile ausgetriebener Rhizomabschnitte aus den beiden anderen Lagen kann davon ausgegangen werden, dass die kürzere Zeitspanne ab der Pflanzung nicht der Grund für die mangelnde Triebkraft ist.

In der Praxis wird der Feldaufgang nach einer Neuanlage erstmalig nach etwa einem Monat beurteilt, dies entspricht der Zählung zum dritten Termin (Abbildung 55) mit 35 bis 43 Tagen nach der Pflanzung. Man kann klar erkennen, dass mit Pflanzmaterial aus 2 bzw. 4 Jahre alten Mutterbeständen zu diesem Termin durchschnittlich 60 % Feldaufgang auszumachen sind, während die 7 Jahre alten Mutterbestände nur Austriebsraten von durchschnittlich 50 % liefern.

Zum fünften Termin (Abbildung 56) nach 48 bis 55 Tagen kann eine Zunahme des Feldaufgangs und der Differenzierung zwischen den Ursprungslagen der Rhizomabschnitte beobachtet werden. Für alle drei Altersstufen ist ein Abfall der Triebkraft von 1-jährig außen über 2-jährig außen nach 2-/mehrjährig innen festzustellen. Für die Stücke aus 2- und 4-jährigen Mutterrhizomen beträgt dieser Qualitätsunterschied nur 12 bis 13 Prozentpunkte, während er für die Abschnitte der 7-jährigen Mutterrhizome im Bereich von fast 40 % liegt.

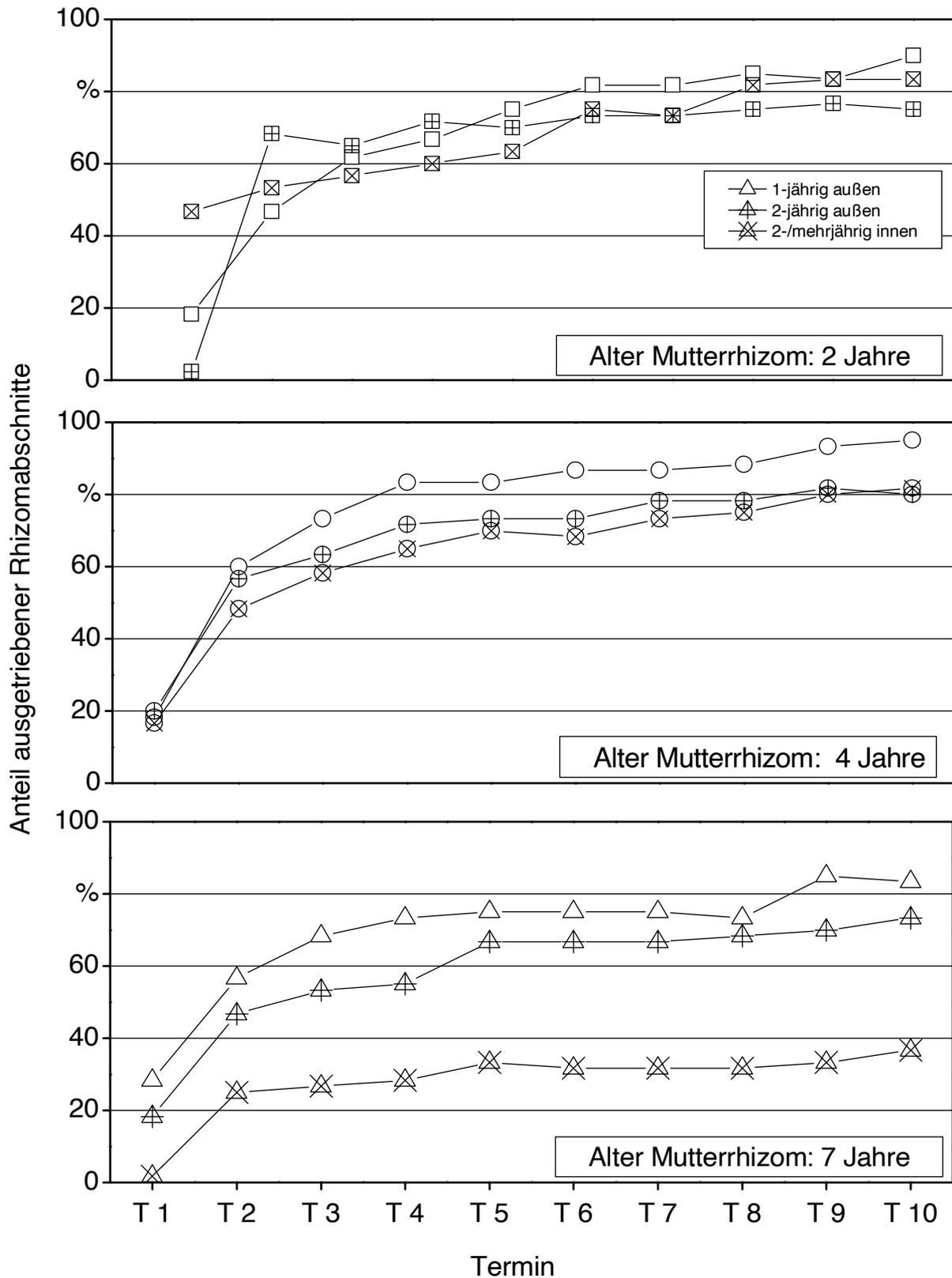


Abbildung 54: Anteil mit oberirdischen Sprossen ausgetriebener Rhizomabschnitte aus 2-, 4- und 7-jährigen Mutterrhizomen mit Unterscheidung der Ursprungslage über eine Versuchsdauer von 91 bis 99 Tagen

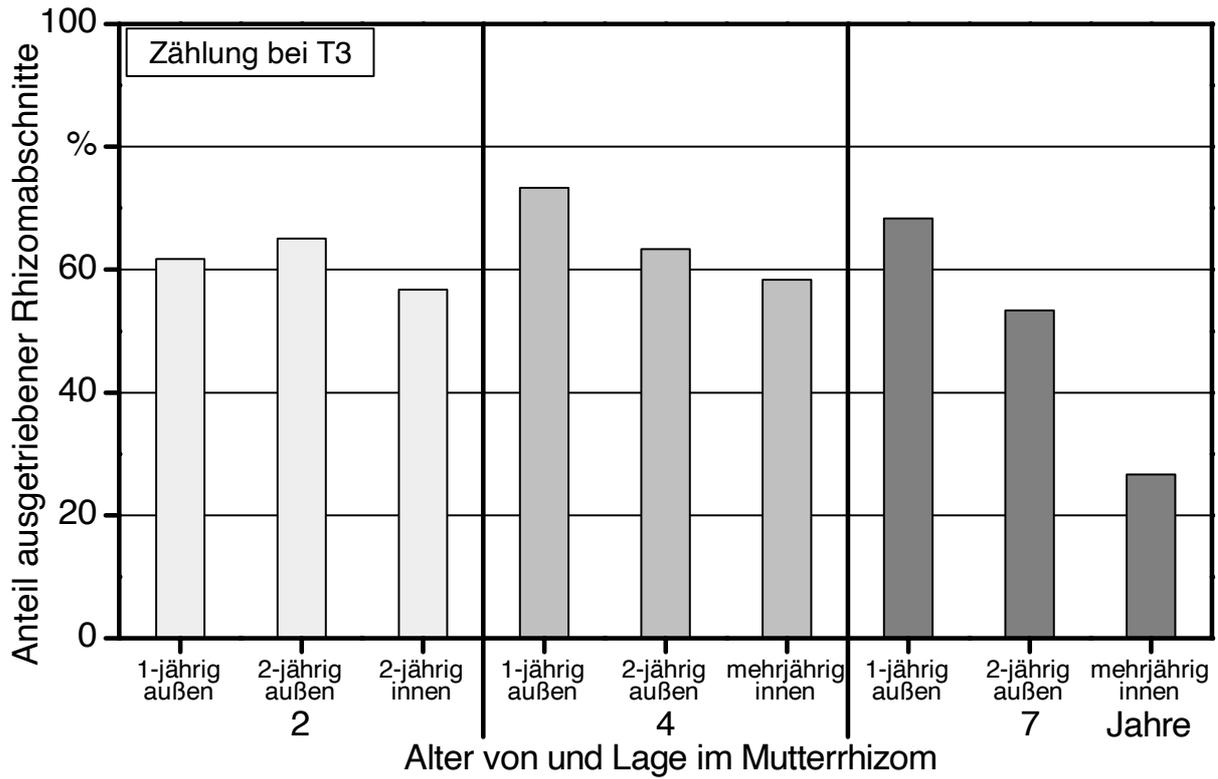


Abbildung 55: Anteil mit oberirdischen Sprossen ausgetriebener Rhizomabschnitte aus 2-, 4- und 7-jährigen Mutterrhizomen mit Unterscheidung der Ursprungslage zum 3. Termin

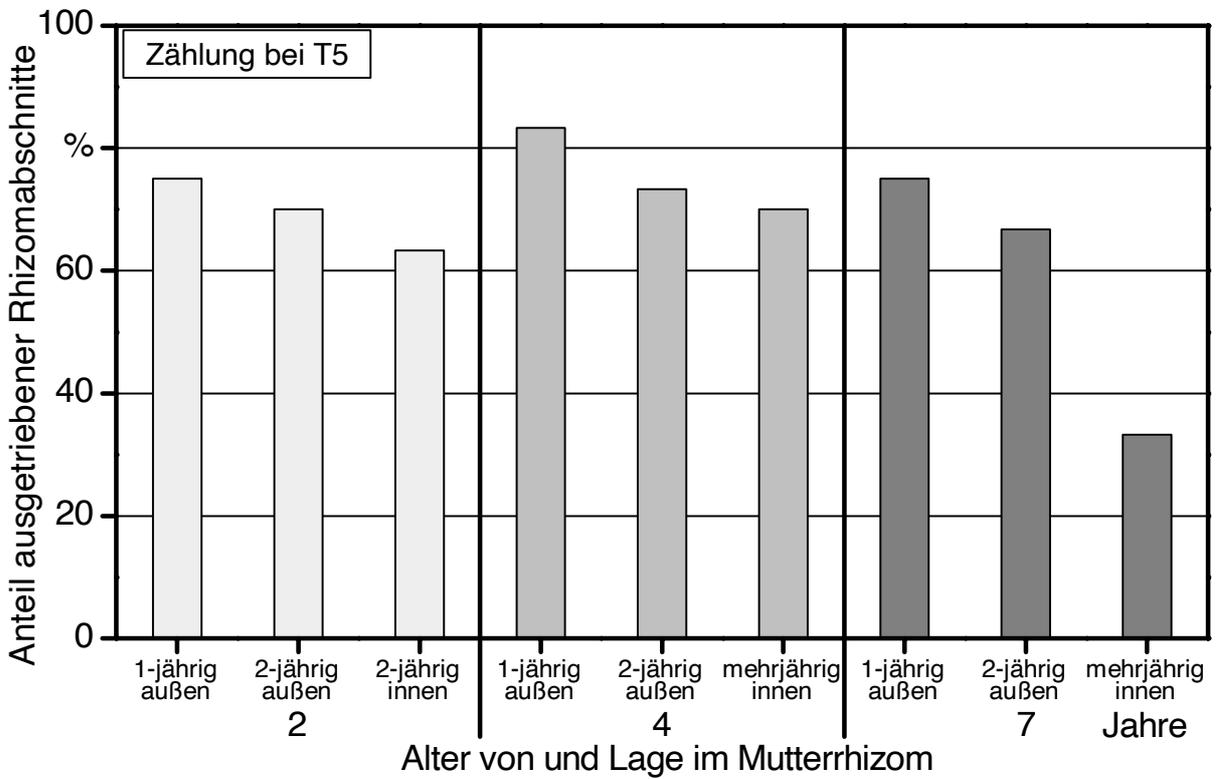


Abbildung 56: Anteil mit oberirdischen Sprossen ausgetriebener Rhizomabschnitte aus 2-, 4- und 7-jährigen Mutterrhizomen mit Unterscheidung der Ursprungslage zum 5. Termin

Nach einer Zeitspanne von 91 bis 99 Tagen nach der Pflanzung (zehnter Termin) dürfte auch unter Praxisbedingungen der maximale Feldaufgang erreicht werden. Zu diesem zehnten Termin verbessert sich der Anteil ausgetriebener Rhizomabschnitte im Vergleich zum vorherigen Termin kaum noch (Abbildung 57, vergleiche auch Abbildung 54), daher kann davon ausgegangen werden, dass der Austrieb aller uneingeschränkt vitalen Rhizomabschnitte erfolgt ist. Der Unterschied zwischen den Altersstufen der Mutterrhizome ist nun maximal, außerdem ist in jeder Altersstufe die höchste Triebkraft für die Abschnitte 1-jährig außen festzustellen. Bei Pflanzgut aus 7-jährigen Mutterbeständen kann man maximal einen durchschnittlichen Feldaufgang von gerundet 65 % erwarten, weniger als 35 % Fehlstellen sind keinesfalls möglich. Für Pflanzgut aus Mutterrhizomen der beiden jüngeren Altersstufen würden durchschnittlich maximal 83 % bzw. 86 % Feldaufgang erreicht werden. Also auch bei optimaler Pflanzgutqualität sind mindestens 14 bis 17 % Fehlstellen rein durch das Pflanzmaterial zu erwarten.

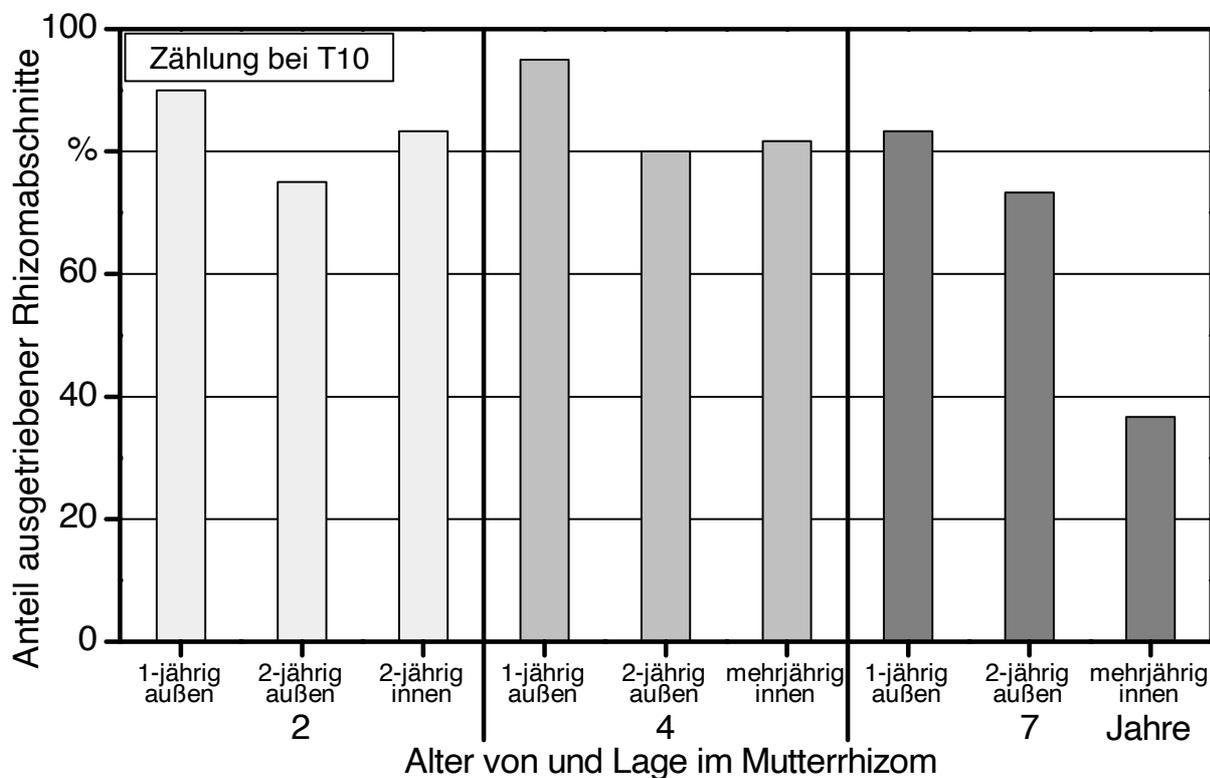


Abbildung 57: Anteil mit oberirdischen Sprossen ausgetriebener Rhizomabschnitte aus 2-, 4- und 7-jährigen Mutterrhizomen mit Unterscheidung der Ursprungslage zum 10. Termin

In den Rückschlüssen auf den maximal möglichen Feldaufgang sind natürlich weitere Ursachen für Fehlstellen, wie Pflanzfehler, Bedeckungsfehler, Trockenschäden und Absterben der Rhizomabschnitte aufgrund anderer Ursachen nicht berücksichtigt. In der Praxis dürften daher noch geringere Feldaufgänge bzw. noch höhere Fehlstellenanteile üblich sein.

Laut Literaturangaben eignen sich 2- bis 3-jährige Rhizome am besten zur Pflanzgutgewinnung, da diese für eine rentable Ausbeute schon groß genug aber noch nicht stark verholzt sind [77]

[106], doch auch jüngere und ältere Bestände im Alter von 1 bis 5 Jahren [85]. Dies wird mit den hier vorgestellten Ergebnissen untermauert. Das systematische Verkahlen, also keine oder nur geringe Neutriebbildung im inneren Bereich des Rhizoms, ist laut Literaturangaben bei *M. x giganteus* bekannt und wirkt sich negativ auf die Vitalität der Rhizomabschnitte und damit auf den Feldaufgang aus [85]. Auch diese Aussage wird im beschriebenen Versuch belegt, daher wird von der Verwendung älterer *Miscanthus*bestände zur Rhizomvermehrung abgeraten.

5.4 Schlussfolgerungen und Empfehlungen für die Praxis

Im Gegensatz zu einjährigen Kulturen, bei denen eventuelle produktionstechnische Fehler bei der Bestellung mit der Folgekultur ausgeglichen werden können, haben Fehler bei der Pflanzung mehr- bis vieljähriger Kulturen ungleich negativere Auswirkungen auf eine gute und dauerhafte Bestandesetablierung.

Miscanthus ist in der Etablierungsphase äußerst konkurrenzschwach gegenüber Verungrasung und Verunkrautung, ein hoher Fehlstellenanteil kann dieses Problem verstärken. Bei größeren Fehlstellen besteht auch in den Folgejahren wegen höherem Lichteinfall eine größere Gefahr bzgl. des Unkrautaufwuchses. Fehlstellen können sich zudem über mehrere Jahre ertragsmindernd auswirken, bis es zu einem natürlichen Lückenschluss durch das Auseinanderwachsen der Rhizome kommt. Ob der Minderertrag schon vorher durch die an die Fehlstellen angrenzenden Pflanzen, z. B. durch höhere Triebzahlen, kompensiert werden kann, ist nicht bekannt. Das Nachpflanzen von Fehlstellen ist in der Praxis nur wenig verbreitet, da es sehr arbeits- und zeitaufwändig ist.

Die Qualität des aus Mutterrhizomen gewonnenen und vermehrten Pflanzgutes spielt eine wichtige Rolle für eine gelungene Bestandesetablierung, da allein aufgrund mangelnder Qualität entstehende Fehlstellen nicht durch andere produktionstechnische Methoden ausgebessert werden können. Wie die vorgestellten Untersuchungen an Rhizomabschnitten aus Mutterrhizomen mit den Altersstufen 2, 4 und 7 Jahre gezeigt haben, geht sowohl vom Alter des Mutterrhizoms als auch von der ursprünglichen Lage des Rhizomabschnitts im Mutterrhizom ein Einfluss auf die Keim- und Triebfreudigkeit der Pflanzabschnitte aus.

Bei der Entnahme von Mutterrhizomen kommt es bei einer mechanischen Zerkleinerung in pflanzfertige Rhizomabschnitte zu einer vollständigen Durchmischung, es kann nicht mehr auf die ursprüngliche Lage im Mutterrhizom rückgeschlossen oder danach sortiert werden. Für die Praxis ist daher das Alter des Mutterbestandes das entscheidende Kriterium für die Frage, welcher Bestand sich am besten für eine Rhizomvermehrung eignet.

Unter diesem Gesichtspunkt sollten jüngere *Miscanthus*bestände für Vermehrungszwecke bevorzugt werden, mit einem leichten Vorteil der 4-jährigen gegenüber 2-jährigen Beständen. Auch andere Quellen merken an, dass bei der Rhizomgewinnung von älteren Beständen der Anteil an abgestorbenen Rhizomabschnitten höher ist, allerdings werden hier 9 Jahre und älter als kritisches Alter genannt [28]. Bei einer Übertragung der in dem vorgestellten Versuch ermittelten Daten auf Feldbedingungen ist zu berücksichtigen, dass sowohl bei der Entnahme der Mutterrhizome als auch bei der Erzeugung der Rhizomabschnitte eine Selektion auf besonders vital erscheinendes

Pflanzgut erfolgte. Diese Selektionsschritte sind in der Praxis, vor allem aus Kosten- und Zeitgründen, so nicht durchführbar, so dass dort mit entsprechend geringerer Triebkraft zu rechnen ist.

Allerdings muss auch diskutiert werden, dass die Entnahme der Mutterrhizome im Oktober stattfand, zu einem Zeitpunkt, zu dem die Miscanthuspflanzen langsam die weitere Triebbildung einstellen, die oberirdische Pflanzenmasse abstirbt und Reservestoffe eingelagert werden. Eine gewisse Inaktivierung der Augen ist daher zu erwarten. Unter Praxisbedingungen würde ein Bestand eher im Frühling, direkt vor dem optimalen Pflanztermin, für die Pflanzguterzeugung gerodet werden. Zu dieser Zeit könnten die eingelagerten Reservestoffe für den bevorstehenden Austrieb schon zur Verfügung stehen und einen schnelleren und kräftigeren Austrieb ermöglichen.

Eine Vergrößerung des Pflanzgutes, wie z. B. beim Ansatz der Rhizomwürfel-Erzeugung mittels Stanzen, kann die dargestellten Qualitätsprobleme nur bedingt lösen. Werden aus einem alten Mutterrhizom größere Rhizomwürfel gestanzt, können diese komplett aus dem fast abgestorbenen Innenbereich bestehen und somit auch eine Fehlstelle verursachen. Als Alternative ist eine deutlich stärkere Zerkleinerung des Mutterrhizoms und Einbringung mehrere Kleinstabschnitte je Pflanzstelle denkbar, um durchschnittlich in jeder Pflanzstelle austriebsfähiges Material zu platzieren. Bei einer solchen Methode würden allerdings das Risiko der Verletzung der Augen und die Austrocknungsgefahr des Pflanzgutes stark ansteigen sowie die Bestandesdichte durch möglichen Mehrfachaustrieb nicht mehr kontrollierbar sein.

Vor der Rodung eines Bestandes ist es empfehlenswert, an repräsentativen Stellen des Bestandes den tatsächlichen Status der Rhizome zu beurteilen zu können, da die Standortbedingungen durchaus Einfluss auf die Ausprägung eines Rhizoms haben können.

Maßnahmen zur Bereitstellung von homogenem Pflanzgut, dessen Qualität hinsichtlich der Austriebsfähigkeit quantifizierbar ist, sind somit noch nicht vollständig verfügbar.

5.5 Zusammenfassung der Untersuchungen zum Austriebsverhalten

In diesem Versuch wurden grundlegende Untersuchungen zur Bewertung von Pflanzabschnitten (Rhizomvermehrung) durchgeführt. Es wurde geprüft, ob sich in Abhängigkeit vom Alter des Mutterrhizoms und von der Lage im Mutterrhizom Unterschiede in der Anzahl der keimfähigen Augen, der Triebfreudigkeit der neu gebildeten Sprosse und dem Wuchsverhalten ergeben.

Die Untersuchungen wurden an insgesamt neun Mutterrhizomen der Alterstufen 2, 4 und 7 Jahre durchgeführt. Jedes Mutterrhizom wurde in drei Lagen – 1-jährig außen, 2-jährig außen und 2- bzw. mehrjährig innen – eingeteilt und je 20 etwa gleichgroße Rhizomabschnitte daraus gewonnen. Zu den Voruntersuchungen gehörte eine detaillierte Vermessung der Mutterrhizome, inklusive dem oberirdischen Biomasseaufwuchs sowie die Beschreibung der Rhizomabschnitte anhand von Qualitätsmerkmalen wie Augenzahl und Durchmesser. Anhand der Augenzahl je Rhizomabschnitt verspricht man sich einen Hinweis auf die potenziell zu erwartenden oberirdischen Triebe. Je älter die Mutterrhizome sind, desto geringer ist die Anzahl kleiner Augen (≤ 5 mm), für die Rhizomabschnitte 1-jährig außen der 7-jährigen Mutterrhizome wurde eine hohe Anzahl großer Augen ermittelt. Die Anzahl der Augen > 5 mm nimmt in allen drei Altersstufen

vom Außen- zum Innenbereich ab. Allein von den Augenzahlen und Durchmessern lassen sich keine klaren Qualitätsvorteile einer Gruppe von Rhizomabschnitten aufzeigen.

Die Rhizomabschnitte wurden in Seramis[®] eingetopft und unter kontrollierten Bedingungen im Gewächshaus zum Treiben gebracht. Zu sechs Terminen in 14-tägigem Abstand wurden die Rhizomabschnitte aus dem Substrat genommen und als Zielgrößen die gekeimten und ungekeimten Augen, die Anzahl Rhizomabschnitte mit Wurzel- bzw. Sprossbildung sowie die Sprosslängen und -durchmesser ermittelt. Weiterhin wurden im Rahmen von 10 Messterminen die Rhizomabschnitte mit oberirdischen Sprossen und die Sprossanzahl insgesamt gezählt.

Die Anzahl der gekeimten Augen ist bei den Rhizomabschnitten aus 4-jährigen Mutterrhizomen am homogensten über alle drei Lagen und im Durchschnitt auch am höchsten. Das Wurzelwachstum ist in allen drei Altersstufen bei Rhizomabschnitten aus dem Außenbereich höher als bei jenen aus dem Innenbereich, im Versuchsverlauf werden diese Unterschiede sowohl innerhalb als auch zwischen den Altersstufen der Mutterrhizome geringer.

Für alle Rhizomabschnitte nimmt das Längenwachstum der Sprosse vom ersten bis zum letzten Termin kontinuierlich zu. Allerdings ist die Sprossentwicklung für die Abschnitte aus den 7-jährigen Mutterrhizomen in der Entwicklung deutlich langsamer. Statt durchschnittlich 380 bzw. 412 mm für die 2- und 4-jährigen Mutterrhizome werden in dieser Gruppe durchschnittlich nur 181 mm Sprosslänge zu Versuchsende erreicht, aus der Lage mehrjährig innen sogar nur 120 mm.

Bei der Zählung der Rhizomabschnitte mit oberirdischen Sprossen zeigen die Rhizomabschnitte 1-jährig außen aus den 4-jährigen Mutterrhizomen mit 95 % Austrieb die besten Werte, gefolgt von den Rhizomabschnitten 1-jährig außen der 2-jährigen Mutterrhizome mit 90 %. Die geringste Austriebskraft hatten die Rhizomabschnitte aus dem Innenbereich der 7-jährigen Mutterrhizome mit nur 37 % ausgetriebener Pflanzabschnitte.

Da in der Praxis während der Pflanzgutherstellung keine Sortierung nach ursprünglicher Lage im Mutterrhizom erfolgen kann, sind die gemittelten Werte zur Beurteilung unterschiedlich alter Bestände am aussagekräftigsten. Die Mutterrhizome aus einem 4-jährigen Miscanthusbestand zeigen mit 86 % ausgetriebenen Rhizomabschnitten die beste Eignung für die Vermehrung. Auch die Mutterrhizome aus dem 2-jährigen Bestand erreichen mit 83 % ähnlich hohe Austriebsraten und können daher für die Pflanzgutproduktion herangezogen werden. Der Anteil ausgetriebener Rhizomabschnitte liegt für die 7-jährigen Mutterrhizome bei nur 64 %, dies entspricht 36 % Fehlstellen. Dies macht deutlich, dass sich ältere Miscanthusbestände nur bedingt zur Rhizomvermehrung eignen.

Festgestellt werden muss außerdem, dass mit Pflanzgut in Form von Rhizomabschnitten und einem Abschnitt je Pflanzstelle ein Feldaufgang über 86 % unmöglich erscheint, 14 % Fehlstellen sind also allein durch das Pflanzgut bedingt. Die im Versuchsablauf durchgeführten Selektionsschritte führen zu einer Ermittlung höherer Austriebszahlen und anderer Zielgrößen, als sie in der Praxis möglich wären. Da in der Praxis weiterhin meist noch andere Ursachen für Fehlstellen wie Pflanzfehler etc. hinzukommen, sind mit dieser Vermehrungs- und Neuanlagemethode Fehlstellen im Bereich deutlich über 15 % unvermeidbar. Eine Methode zur Gewinnung qualitativ hochwertigem Pflanzgut, welche quantifizierbar ist, ist somit noch nicht vollständig entwickelt und etabliert.

6 Selektion neuer Miscanthus-Typen (LWG)

6.1 Zielsetzung

Im Folgenden wird eine Kurzfassung des Berichts „Verbesserung der Überwinterungsfähigkeit von Miscanthus x giganteus-Jungbeständen sowie Bereitstellung neuer ertragreicher Sorten“ aus dem Jahr 1999 dargestellt.

Die bekannten Miscanthussorten und -varietäten wurden als Ziergräser für die Verwendung in Gärten gezüchtet und erfüllten hinsichtlich ihrer Leistungsfähigkeit nicht die Erwartungen zum Anbau als nachwachsender Rohstoff. Aufgrund zu geringer Kenntnisse über Standortansprüche, Anforderungen an die Pflanzenqualität und Pflanztechnik kam es zu Beginn der Neunziger Jahre zu hohen Ausfällen bei der Art Miscanthus x giganteus innerhalb des ersten Winters nach dem Pflanzjahr. Diese züchterisch unbearbeitete Art wurde erstmals großflächig angebaut.

In umfangreichen Untersuchungen widmete sich die Bayerische Landesanstalt für Weinbau und Gartenbau (LWG) intensiv der Ursachenforschung für die zum Teil hohen Ausfallraten und überprüfte verschiedene Möglichkeiten zur Verbesserung der Überwinterungsraten, wie Standortauswahl, Pflanzenqualitäten, Pflanzverfahren und Behandlung von Jungpflanzen.

Um ein größeres Sortenpotential für einen zukünftigen risikolosen Anbau bereitstellen zu können, wurden von der LWG seit 1988 aus Sämlingsbeständen Einzelpflanzen selektiert, die auf ihre Überwinterungsfähigkeit und Ertragsleistung geprüft und bezüglich ihrer Anbauwürdigkeit beurteilt werden. Ziel war es, die Standortbedingungen, die für den Anbau von Miscanthus x giganteus nicht geeignet sind einzugrenzen, und neue Sorten bzw. Varietäten als Alternativen bereit zu stellen.

6.2 Material und Methoden

6.2.1 Selektion neuer Miscanthus-Typen

Seit 1988 wurden auf den Versuchsflächen der LWG in der Gemarkung Güntersleben, Landkreis Würzburg, Selektionsversuche durchgeführt. Von bekannten Sorten, die als Mutterpflanzen in einem Bestand aus gemischten Sämlingspflanzen ausgepflanzt waren, wurde Saatgut abgenommen, Jungpflanzen davon im Gewächshaus angezogen und im Freiland innerhalb verschiedener Selektionsreihen in den Jahren 1988 bis 1994 aufgepflanzt. Die stärksten Einzelpflanzen hinsichtlich Trockengewicht, Höhe und Halmzahl wurden vermehrt und getestet. Soweit das Material ausreichte, wurden die Jungpflanzen hierfür an der damaligen Bayerischen Landesanstalt für Bodenkultur und Pflanzenbau, Freising, mittels *In-vitro*-Kultur erzeugt. Alle restlichen Pflanzen wurden auf herkömmliche Weise durch Teilung von Rhizomstücken an der LWG vermehrt.

So wurden im Juni 1995 am Standort „Göbi“ (Güntersleben) insgesamt 34 Miscanthus-Varietäten gepflanzt (Tabelle 17). Davon sind 21 Varietäten neue Selektionen der LWG, 7 Auslesen aus Dänemark und 6 Herkünfte bekannter Sorten, die als Referenz mit beobachtet wurden. Die Standortverhältnisse sind vergleichbar mit dem Standort „Meidl“. Dieser zeichnet sich durch einen tief-

gründigen Lössboden aus, mit einer Ackerzahl von 83. Im langjährigen Mittel fallen hier 606 mm Niederschlag bei einer Jahresdurchschnittstemperatur von 9,1 °C. Der Pflanzabstand betrug 0,9 m x 0,9 m, bei 30 Pflanzen pro Parzelle und zwei Wiederholungen je Varietät. Eine weitere Pflanzung mit 30 Varietäten, die sich überwiegend in Winterruhe befanden, erfolgte Ende November 1995 am Standort Meidl. 1996 wurden Parzellen mit größeren Ausfällen am Standort Göbi nachgepflanzt bzw. ganz ersetzt. Parallel zur Pflanzung im Juni 1995 wurden 26 Varietäten zur Beobachtung im Schaugarten der früheren Bayerischen Landesanstalt für Bodenkultur und Pflanzenbau (LBP) mit geringerer Stückzahl angepflanzt.

Im Juni 1999 wurden weitere 48 Miscanthus-Varietäten zur Prüfung auf den Versuchsfeldern Meidl der LWG angepflanzt (2 x 30 Pflanzen pro Varietät, Pflanzabstand 0,9 m x 0,9 m). Die Varietäten stammten zum einen aus den Sämlingsbeständen der LWG und zum anderen von der Firma TINPLANT. Als Referenz dienten Miscanthus x giganteus und Miscanthus sinensis 'Goliath'.

Tabelle 17: Winterausfallraten und Trockenmasseerträge verschiedener Miscanthus-Sorten bzw. -Varietäten an den Standorten Göbi und Meidl in Güntersleben

Sorte und Herkunft	Göbi		Meidl		
	Ausfall	Ertrag	Ausfall	Ausfall	Ertrag
	1995/96	2003	1995/96	1996/97	2003
	[%]	[t ha ⁻¹]	[%]	[%]	[t ha ⁻¹]
M. x giganteus (Dänemark, <i>in vitro</i>)/ ersetzt durch Jungpflanzen LWG	85	18,3	17	15	22,9
M. x giganteus (Selektion LBP, <i>in vitro</i>)/ nachgepflanzt	67	16,5	12	2	25,1
M. x giganteus (1-jährige Jungpfl., <i>in vitro</i>)/ ersetzt durch Jungpflanzen Dieffenbach	92	18,3	-	-	-
'Goliath' (Selektion LBP, <i>in vitro</i>)	27	7,4	0	0	11,3
'Silberturm' (Herk.: Pagels, <i>in vitro</i>)	77	11,1	5	13	10,9
Absaat von 'Goliath'-Mutterpflanzen:					
LWG 16.5 (<i>in vitro</i>)	0	13,9	0	0	16,2
LWG 13.3 (<i>in vitro</i>)	0	13,5	0	0	17,3
Absaat von 'Silberturm'-Mutterpflanzen:					
LWG 2.11 (rhizomvermehrt)	0	12,8	3	0	12,4
LWG 2.11 (<i>in vitro</i>)	3	10,4	0	0	13,6
LWG 10.18 (rhizomvermehrt)	12	15,3	7	3	14,4
Absaat von 'Rotsilber'-Mutterpflanzen:					
LWG 28.25 (<i>in vitro</i>)	0	13,3	0	0	16,6
LWG 31.3 (<i>in vitro</i>)	8	14,0	2	2	12,0
Absaat von 'Robustus'-Mutterpflanzen:					
LWG 7.6 (rhizomvermehrt)	0	13,5	0	0	16,2
LWG 7.16 (rhizomvermehrt)	0	13,8	0	0	14,0

Sorte und Herkunft	Göbi		Meidl		
	Ausfall	Ertrag	Ausfall	Ausfall	Ertrag
	1995/96	2003	1995/96	1996/97	2003
	[%]	[t ha ⁻¹]	[%]	[%]	[t ha ⁻¹]
Absaaten von 'Strictus'-Mutterpflanzen:					
LWG 19.18 (<i>in vitro</i>)	18	10,1	0	0	13,0
LWG 19.9 (<i>in vitro</i>)	3	12,4	7	2	14,1
LWG 19.22 (<i>in vitro</i>)	7	11,4	0	0	13,4
LWG 17.22 (<i>in vitro</i>)	20	11,0	0	0	17,4
LWG 19.14 (rhizomvermehrt)	5	11,8	7	5	17,3
Herkünfte aus vorangegangenen Selektionsversuchen der LWG:					
LWG 40215 (rhizomvermehrt)	5	12,6	7	0	18,3
LWG 60623 (<i>in vitro</i>)	17	12,5	0	0	17,9
Aussaaten 'Silberfeder'-Mutterpflanzen:					
LWG 3.36 (rhizomvermehrt)	15	9,9	-	-	-
LWG 3.36 (<i>in vitro</i>)	0	6,6	0	0	13,5
LWG 3.38 (<i>in vitro</i>)	8	10,7	0	0	15,3
LWG 3.53 (rhizomvermehrt)	0	13,4	0	0	17,2
Herkünfte aus dänischen Selektionen:					
DK 90-2 (<i>in vitro</i>)	8	8,1	0	2	9,3
DK 90-3 (<i>in vitro</i>)	2	12,0	3	0	13,1
DK 89-10 (<i>in vitro</i>)	0	11,0	8	5	10,2
DK 89-13 (<i>in vitro</i>)	2	10,8	10	15	12,6
DK 0214 (= Sacchariflorus-Selektion)	0	14,4	0	0	16,4
DK 0215 (= Sacchariflorus-Selektion)	5	16,0	0	0	21,0

6.2.2 Ursachenforschung bezüglich Winterausfälle und Verbesserung der Überwinterungsraten

Von 1988 bis 1995 wurden Winterausfälle bei Neupflanzungen von Miscanthusbeständen bayernweit erfasst. Diese wurden mit den Temperaturverläufen im Winter verglichen. Besondere Beachtung fanden dabei Frostperioden in den oberen 5 cm, definiert als Perioden mit Temperaturen von $\leq -0,5$ °C über mindestens 2 Tage. Zudem wurden Frostungsversuche durchgeführt, um die Frosttoleranz von Miscanthusrhizomen zu überprüfen.

Darüber hinaus wurden Rhizomstücke im November aus unterschiedlich alten Mutterbeständen entnommen (2- und 5-jährig), in Multitopfplatten gepflanzt und ihr Austriebsverhalten beobachtet. Anhand des Zeitpunkts wann der Wiederaustrieb begann, ließ sich feststellen, ob sich die Rhizomstücke schon in der Winterruhe (Wiederaustrieb im Frühjahr) oder noch im Wachstum (sofortiger Neuaustrieb) befanden.

Stärke, Kohlenhydrate und Stickstoff wurden in Knospen, Rhizomneuanlagen, in 2-jährigen sowie in Altrhizomen gemessen, um die jeweiligen Speicherorte festzustellen sowie deren Einfluss auf die Winterhärte. Ergänzt wurden diese Untersuchungen durch Parzellenversuche an klimatisch unterschiedlichen Standorten, Rhizompflanzungen in verschiedenen Bodentiefen sowie Behandlungen von Jungpflanzen mit Camposan (Wirkstoff: 2-Chlorethyl-Phosphorsäure), mit einer Strohabdeckung und dem Anhäufeln mit Erdreich.



Abbildung 58: *Miscanthus*-Jungpflanzen und Rhizome

6.3 Ergebnisse und Diskussion

6.3.1 Selektion neuer *Miscanthus*-Typen

Am Standort „Göbi“ zeigten alle Varietäten hohe Anwachsrate bis zu 100 %. Bei der Herbstpflanzung am Standort „Meidl“ war die Anwachsrate identisch mit der Überwinterungsrate 1995/1996 und lag insgesamt höher als die Überwinterungsrate 1995/1996 am Standort „Göbi“. Da hier die Pflanzen jedoch vor Ermittlung der Winterausfallraten schon eine halbe Vegetationsperiode durchlebt hatten, wurde am Standort „Meidl“ die Winterausfallrate nach der Vegetationsperiode 1996 erneut ermittelt. Die Vorteile einer Herbstpflanzung konnten hierdurch bestätigt werden, denn die Ausfallraten waren erneut mehrheitlich sehr gering. Aber auch am Standort „Göbi“ – der Sommerpflanzung – zeigten einige neue Varietäten geringe Ausfallraten, teilweise bis zu 0 % (Tabelle 19).

Hinsichtlich der Ertragsleistung zeigten einige neue Varietäten vielversprechende Ergebnisse. Die höchsten Erträge am Standort „Göbi“ wurden mit deutlich über 18 t ha^{-1} im Jahr 2003 von *Miscanthus x giganteus* Herkunft LWG und Dieffenbach erzielt. Diese wurden 1996 als Ersatz für ausgefallene Sorten gepflanzt. Am Standort „Meidl“ erzielte *Miscanthus x giganteus* (Selektion LBP) 2003 ein hervorragendes Ergebnis mit knapp über 25 t ha^{-1} . Ebenfalls deutlich über 20 t ha^{-1} lagen *Miscanthus x giganteus* (Herkunft Dänemark) sowie eine dänische *Miscanthus sacchariflorus*-Selektion.

Bei einigen Varietäten ist ein rascher Biomassezuwachs schon in den ersten Jahren zu verzeichnen. So erreichen die Varietäten LWG 7.6 und LWG 7.16 am Standort „Göbi“ schon in der dritten

Vegetationsperiode 16,4 t ha⁻¹ bzw. 15,8 t ha⁻¹. Diese Erträge wurden allerdings im Jahr 2003 mit 13,53 t ha⁻¹ bzw. 13,78 t ha⁻¹ nicht mehr erreicht.

Aufgrund der hohen Ertragsleistungen und positiven Überwinterungsraten wurden die besten Varietäten in ein Versuchsprogramm in Zusammenarbeit mit der Firma TINPLANT Biotechnik und Pflanzenvermehrung GmbH Kleinwanzleben aufgenommen, mit der Zielrichtung einer Anzucht von Miscanthuspflanzen über Samenvermehrung zur Kostenminimierung.

Tabelle 18 zeigt das Blühverhalten beispielhaft dargestellter, untersuchter Varietäten. Gerade in milden Regionen wie z. B. Mainfranken muss aufgrund der längeren Wachstumsperiode bei einigen der neuen Varietäten mit der Ausbildung von Samen gerechnet werden, wenn eine Kreuzung mit Miscanthus sinensis-Typen möglich ist. Lediglich die dänischen Selektionen Miscanthus sacchariflorus DK 0214 und DK 0215 bilden neben den Miscanthus x giganteus-Formen keine Blüten aus und stellen somit kein Risiko für eine Florenverfälschung dar. Ein geringes Risiko besteht auch bei Pflanzen, die im November noch blühen, da eine Samenreife zu diesem späten Zeitpunkt unwahrscheinlich ist.

Tabelle 18: Blütenentwicklung verschiedener, beispielhaft ausgesuchter Miscanthussorten an den Standorten „Göbi“ und „Meidl“ in Güntersleben (ausführliche Tabelle in [50]). Boniturschlüssel: 1 = ohne Blüten bzw. vereinzelt Blüten sichtbar, 2 = blühend, 3 = verblüht

Sorte und Herkunft	Göbi		Meidl	
	28.08.97	17.11.97	28.08.97	17.11.97
M. x giganteus (1996, LWG)	1	1	1	1
Absaaten von 'Goliath'-Mutterpflanzen:				
LWG 16.5 (<i>in vitro</i>)	2	2	2	3
LWG 13.3 (<i>in vitro</i>)	1	2	1	2
Absaaten von 'Silberturm'-Mutterpflanzen:				
LWG 2.11 (rhizomvermehrt)	2	3	2	3
LWG 2.11 (<i>in vitro</i>)	2	3	2	3
LWG 10.18 (rhizomvermehrt)	2	3	2	3
Absaaten von Miscanthus sacchariflorus 'Robustus'-Mutterpflanzen:				
LWG 7.6 (rhizomvermehrt)	2	3	2	3
LWG 7.16 (rhizomvermehrt)	1	3	2	3
Herkünfte aus vorausgegangenen Selektionsversuchen der LWG:				
LWG 40215 (rhizomvermehrt)	2	2	2	2
LWG 60623 (<i>in vitro</i>)	1	2	1	2
Herkünfte aus dänischen Selektionen:				
DK 0214 (= Misc. sacchariflorus-Selektion)	1	1	1	1
DK 0215 (= Misc. sacchariflorus-Selektion)	1	1	1	1

Auch einige der im Juni 1999 ausgepflanzten Sorten erzielten überzeugende Erträge (Tabelle 19). So erreichte der Miscanthus sacchariflorus-Typ Nummer 29 nach dem 4. Standjahr (inkl. Pflanzjahr) einen Trockenmasseertrag von 20,9 t ha⁻¹. Die Winterausfallrate lag bei 0 %. Eine Blüten-

entwicklung und damit die Gefahr einer Florenverfälschung waren nicht gegeben. Noch leistungsfähiger waren die beiden Miscanthus x giganteus-Klone Nr. 39 und 40, mit Trockenmasseerträgen von 23,6 t ha⁻¹ und 22,7 t ha⁻¹. Die Ausfallraten waren mit 6 % und 9 % jedoch etwas höher im Vergleich zum oben beschriebenen Miscanthus sacchariflorus-Typ. Die Gefahr einer Florenverfälschung besteht bei diesen sterilen Typen ebenfalls nicht. Für eine Einkreuzung erscheint der Miscanthus sacchariflorus-Typ interessant. Unter entsprechenden klimatischen Bedingungen erreicht dieser die Blüte und kann somit als ertragsstarker Kreuzungspartner fungieren.

Tabelle 19: Durchschnittliche Winterausfallrate, Trockenmasseertrag, Trockensubstanzgehalt und Blühverhalten von verschiedenen, beispielhaft dargestellten Miscanthus-sorten in Güntersleben (Meidl). Boniturschlüssel Blühverhalten: 1 = ohne Blüten oder vereinzelt Blüten sichtbar, 2 = blühend, 3 = verblüht

Klon	Ausfallrate	Ertrag	TS	Blühverhalten
	1999/2000	02/2003	02/2003	11/2002
	[%]	[t TM ha ⁻¹]	[%]	
Miscanthus x giganteus (Nr. 39)	6	23,6	70,0	1
Miscanthus x giganteus (Nr. 40)	9	22,7	80,2	1
Miscanthus sinensis 'Goliath'	0	18,1	80,1	2
14	2	18,5	80,3	2
29	0	20,9	66,4	1
31	3	19,0	72,9	1
34	3	18,6	74,3	1
36	0	19,2	71,2	1

6.3.2 Ursachenforschung bezüglich Winterausfälle und Verbesserung der Überwinterungsraten

6.3.2.1 Überwinterungsfähigkeit von Miscanthus x giganteus Jungbeständen

Die Wahl des richtigen Standortes ist auch für die Überwinterungsfähigkeit junger Miscanthus-pflanzen entscheidend. So zeigte sich in einer Versuchsreihe, dass an einem klimatisch begünstigten Standort im Maintal (Himmelstadt), die Überwinterungsraten von Miscanthus nach dem ersten Winter im Jahr 1997 mit 96,1 % deutlich höher lagen, als auf zwei exponierten Standorten auf der Wern-Lauer-Platte (Güntersleben, Unterpleichfeld), wo lediglich 65,0 bis 77,6 % überwinterten. Zudem bestätigte sich, dass die Verwendung rhizomvermehrter Pflanzen ebenfalls die Überwinterungsrate erhöht (Tabelle 20).

Tabelle 20: Überwinterungsraten von *Miscanthus x giganteus* unterschiedlicher Vermehrungsart im Maintal (Himmelstadt) und in Güntersleben (Unterpleichfeld) 1997

	Wern-Lauer-Platte (klimatisch benachteiligt)	Maintal (klimatisch begünstigt)
	[%]	[%]
Miscanthus x giganteus (<i>in vitro</i> vermehrt)	65,0 - 77,6	96,1
Miscanthus x giganteus (rhizomvermehrt)	92,2 - 94,8	99,4

Eine inzwischen stark propagierte Methode der Bestandesgründung [91] ist die direkte Einarbeitung von Rhizomstücken in die Fläche z.B. mittels einer Kartoffellegemaschine. Die Kosten hierfür liegen bei ca. 20 % der Kosten für die Verwendung von *In-vitro*-Pflanzen [15]. Allerdings scheinen bei dieser Kalkulation die Etablierungskosten des Mutterpflanzenbestandes noch nicht berücksichtigt zu sein. Bedacht werden muss hier allerdings, dass bei dieser Methode der Feldaufgang der Jungpflanzen einer Schwankung von bis zu 50 % unterliegt. Versuche der LWG zeigten, dass v. a. an exponierten Standorten die Überwinterungsrate mit der Pflanzung ganzer Rhizome verbessert werden kann (Tabelle 21).

Die aus Anwachs- und Überwinterungsrate berechnete Etablierungsrate zeigt deutlich den Vorteil einer Pflanzung an einem klimatisch begünstigten Standort. Eine Tiefpflanzung von Rhizomen wirkt sich hierbei negativ aus (Tabelle 21). Die erhöhten Überwinterungsraten wirken sich aufgrund teilweise verringerter Anwachsrate jedoch nur bedingt aus. Auch die Verwendung größerer Rhizome kann diesen Nachteil nur zum Teil ausgleichen. Voraussetzung für den Einsatz größeren Pflanzguts ist zudem ein mindestens dreijähriger Mutterpflanzenbestand zur Rhizomgewinnung.

Eine weitere Möglichkeit zur Verbesserung der Überwinterungsraten an den exponierten Standorten zeigte sich bei Behandlung der Pflanzen mit Camposan (Wirkstoff: 2-Chlorethyl-Phosphorsäure) im August ($1,5 \text{ l ha}^{-1}$). Dies sorgte für eine deutliche Erhöhung der Überwinterungsraten bei *in vitro* vermehrten *Miscanthus x giganteus*-Pflanzen um bis zu ca. 33 % (Tabelle 21). Es ist jedoch darauf zu achten, dass die Ausbringung des Wirkstoffs nicht bei feuchtem Wetter und Temperaturen unter 15 °C stattfindet, sondern eher bei trockenem Wetter und Lufttemperaturen von ca. 20 °C . Die im Behandlungsjahr festgestellte Reduktion der Halmhöhe der Giganteus-Jungpflanzen um bis zu 40 cm im Vergleich zu unbehandelten Kontrollpflanzen wirkt sich im Folgejahr nicht mehr aus. Das Anhäufeln von Erdreich um die Pflanzen im Herbst bzw. die Abdeckung der Jungpflanzen im Herbst mit Stroh (3 kg m^{-2}) hatte in den Versuchen keinen Einfluss auf die Überwinterungsraten. Nicht zuletzt kann ein später Pflanzzeitpunkt nach Abschluss des Wachstums der Jungpflanzen die Etablierungsrate deutlich erhöhen.

Tabelle 21: Anwachsraten und Überwinterungsraten von *Miscanthus x giganteus* 1996 und 1997 an verschiedenen Standorten. Zusätzlich Überwinterungsraten von *in vitro* und rhizomvermehrten Jungpflanzen behandelt mit 1,5 l ha⁻¹ Camposan verglichen mit einer Kontrolle.

Behandlungen		Wern-Lauer- Platte	Maintal
		[%]	[%]
Miscanthus x giganteus			
Anwachsraten 1996	Jungpflanzen, <i>in vitro</i> vermehrt	92 - 100	100
	Einzelrhizom, Länge 10 cm / Pflanztiefe 20 cm	14 - 50	20
	Einzelrhizom, Länge 10 cm / Pflanztiefe 10 cm	32 - 62	34
	Rhizom, faustgroß, mehrere Knospen / Tiefe 20 cm	40 - 76	36
	Rhizom, faustgroß, mehrere Knospen / Tiefe 10 cm	74 - 90	68
Überwinterungsraten 1997	Jungpflanzen, <i>in vitro</i> vermehrt	31 - 54	100
	Einzelrhizom, Länge 10 cm / Pflanztiefe 20 cm	84 - 86	90
	Einzelrhizom, Länge 10 cm / Pflanztiefe 10 cm	81 - 88	65
	Rhizom, faustgroß, mehrere Knospen / Tiefe 20 cm	89 - 100	83
	Rhizom, faustgroß, mehrere Knospen / Tiefe 10 cm	84 - 91	88
Miscanthus x giganteus Jungpflanzen			
Überwinterungsraten 1997	Kontrolle, <i>in vitro</i> vermehrt	65 - 78	96
	Kontrolle, rhizomvermehrt	92 - 95	99
	<i>in vitro</i> vermehrt, Camposan, 1,5 l ha ⁻¹ , August	91 - 98	99
	Rhizomvermehrt, Camposan 1,5 l ha ⁻¹ , August	99	99

6.3.2.2 Klimaeinflüsse

Eine entscheidende Rolle für die Überwinterungsrate nach dem 1. Anbaujahr bei *Miscanthus* spielt das Kleinklima des Anbaustandortes. Ein Vergleich unterschiedlicher Anbaujahre deutet vor allem auf einen direkten Zusammenhang mit dem Temperaturverlauf im Winter hin. Gerade für die Anzahl der Frostperioden (Temperaturmittel $\leq -0,5$ °C an mindestens zwei aufeinanderfolgenden Tagen) in 5 cm Bodentiefe errechnet sich eine statistisch nachweisbare Korrelation mit der Höhe der Ausfallraten ($R^2 = 0,83$; Abbildung 59).

Hohe, aber vor allem sehr schnelle Temperaturwechsel im Winter (Frost-Tau-Ereignisse) führen bei Holzgewächsen zu einer Kristallisation von Wasser in den Zellen, was zum Zerstören des Gewebes führen kann und somit eine deutliche Abschwächung der Frostresistenz hervorruft [120]. Es ist vorstellbar, dass der gleiche Mechanismus in *Miscanthus* die Winterausfallrate erhöht. Unter anderem spielen hier auch Bodenfeuchteverhältnisse im Winter eine wichtige Rolle. Nach Pomeroy und Andrews [90] führt eine hohe Bodenfeuchtigkeit zur Verringerung der Frostresistenz, da dann der Wassergehalt in den Zellen weniger stark abnimmt [113][14]. Pomeroy und Andrews [90] sprechen vom sogenannten Überflutungsstress nach Schmelzphasen und Regen im

Winter, wenn durch auf Frost folgenden Regen Staunässe entsteht. Nachfolgender Frost kann wiederum zu einer Vereisung führen, welche die Frostresistenz vermindert.

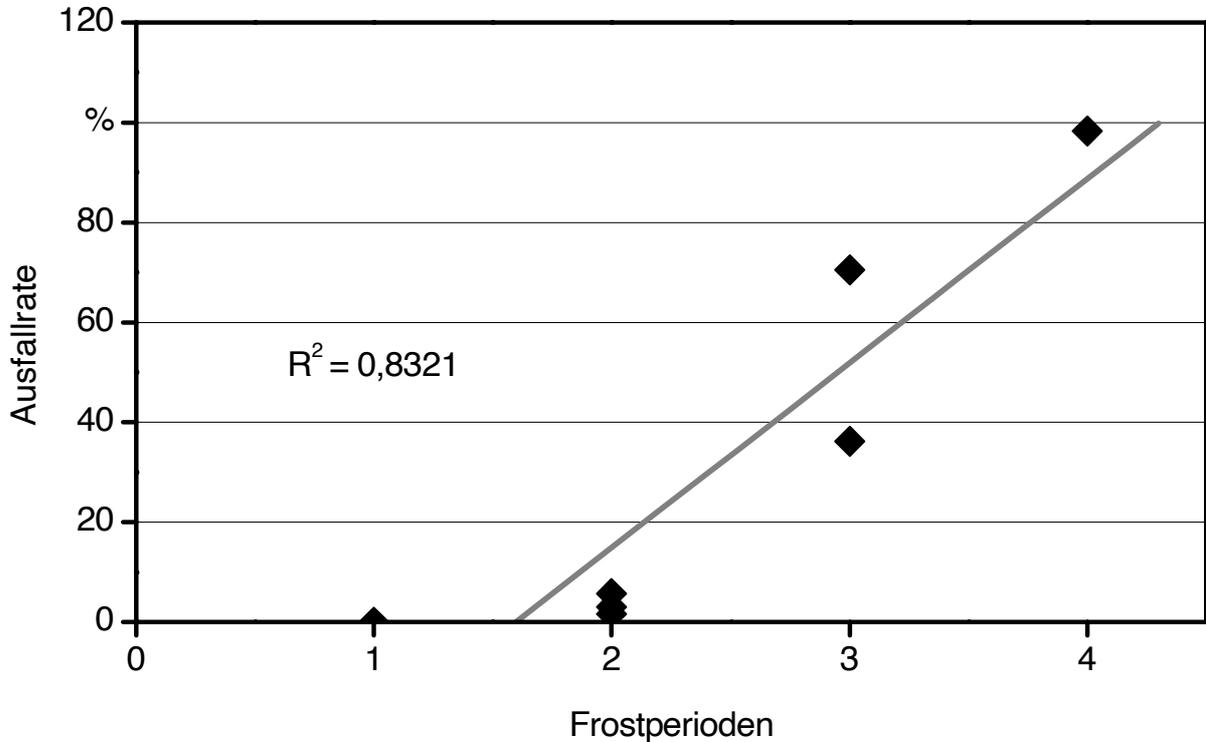


Abbildung 59: Ausfallraten von *Miscanthus x giganteus* in Abhängigkeit von Frostperioden in 5 cm Bodentiefe (Temperaturmittel $\leq -0,5$ °C an mindestens zwei aufeinanderfolgenden Tagen) in Würzburg

Dieser sich negativ auf die Frosttoleranz auswirkende Wechsel von kalten und milden Perioden wird überlagert von einzelnen extremen Frostereignissen, welche alleine zu deutlichen Winterausfällen führen können. Ein Vergleich unterschiedlicher Standorte in Bayern ergab eine kritische Temperatur für *Miscanthus*-Jungpflanzen im Bereich von -5 °C, dies konnte durch Frostungsversuche belegt werden. Im Verlauf des Winters nahm die Frosthärte jedoch zu. Dies wurde vor allem bei älteren Pflanzen deutlich, die eine höhere Frosttoleranz aufwiesen.

Insgesamt wird klar, dass nicht ein Faktor alleine die Überwinterungsrate bei *Miscanthus*-Jungpflanzen bestimmt. Der klimatische Verlauf des Winters spielt hierbei eine Rolle. Eine häufige Abfolge von Frost-Tau-Ereignissen im Boden und die hiermit verbundene Überflutung der Rhizome bei nachfolgendem Regen oder Schneeschmelze sowie eine eventuell folgende Vereisung durch einsetzenden Frost verringern die Frosthärte. Überlagert werden diese Vorgänge von der Froststärke, dem Zeitpunkt des ersten Frostes und dem Verlauf der vorausgegangenen Vegetationsperiode in Bezug auf Bodenfeuchte und Temperatur.

6.3.2.3 Abschlusszeitpunkt

Als ein entscheidender Faktor für die Winterhärte von Miscanthus hat sich der Abschlusszeitpunkt des Pflanzenwachstums herausgestellt. Pflanzen, die zum Zeitpunkt des 1. Frostes ihr Wachstum noch nicht abgeschlossen haben, zeigen erhöhte Ausfallraten. Austriebstests mit Rhizomen verschiedener Sorten und Alter (Tabelle 22) bestätigen diese Freilandbeobachtungen. Den raschesten Wiederaustrieb und somit die geringste Winterruhe zeigten im Versuch Jungpflanzen von Miscanthus x giganteus. Von 15 im November ausgegrabenen und im Gewächshaus getopften Rhizomstücken trieben acht bereits im selben Monat wieder aus, weitere fünf im Dezember und nur zwei erst im Januar. Deutlich später war der Wiederaustrieb bei mehrjährigen Giganteus-Pflanzen, der überwiegend erst im Januar/Februar stattfand. Ende Dezember trieben von 15 Giganteus-Rhizomstücken nur sechs wieder aus, während Jungpflanzen der Sorte Miscanthus sinensis ‚Goliath‘ und 2-jährige Giganteus-Pflanzen zu 100 % wieder austrieben. Die stärkste Winterruhe zeigten 5-jährige Giganteus-Pflanzen (fünf Austriebe, die erst im Februar gebildet wurden). Im März 1996 war die Winterruhe bei allen Sorten nur noch schwach ausgeprägt.

Bei Giganteus-Jungpflanzen traten deutliche Ausfälle im Dezember auf, obwohl die tiefste Temperatur im Boden lediglich einen Wert von -1,6 °C in 5 cm Tiefe erreichte. Eine Schädigung der noch grünen, physiologisch aktiven oberirdischen Biomasse könnte zum Absterben der ganzen Pflanze geführt haben. Oder dieser geringe Frost schädigte bereits die Rhizome mit ihren relativ hohen Wassergehalten.

Tabelle 22: Wiederaustrieb von Miscanthus x giganteus- und M. sinensis ‚Goliath‘-Rhizomen bei unterschiedlichen Zeitpunkten der Topfung

Topfung	Sorten	Anzahl ausgetriebener Rhizome					Gesamt [%]	
		Nov.	Dez.	Jan.	Febr.	März		Apr.
November	‚Giganteus‘ Jungpflanze	8	5	2	0	0	100	
	‚Giganteus‘ 2-jährig	0	0	5	3	0	53	
	‚Giganteus‘ 5-jährig	0	1	9	2	0	80	
Dezember	‚Giganteus‘ Jungpflanze		0	6	0	0	40	
	‚Giganteus‘ 2-jährig		0	14	1	0	100	
	‚Giganteus‘ 5-jährig		0	8	5	0	87	
	‚Goliath‘ Jungpflanze		0	15	0	0	100	
März	‚Giganteus‘ Jungpflanze					1	1	13
	‚Giganteus‘ 2-jährig					13	0	87
	‚Giganteus‘ 5-jährig					15	0	100
	‚Goliath‘ Jungpflanze					13	0	87

Insgesamt wurde deutlich, dass Jungpflanzen von Miscanthus x giganteus später in die Phase der Winterruhe übergehen und somit höhere Ausfallraten zur Folge hatten, als diese bei älteren Pflan-

zen und Jungpflanzen der Sorte *Miscanthus sinensis* ‚Goliath‘ auftraten. Dies war bereits augenscheinlich an der Färbung der Pflanzen zu erkennen. Während ältere Pflanzen in der Regel ab Ende Oktober/Anfang November einen deutlichen Chlorophyllabbau verzeichnen, was sich in einer Braunfärbung der Halme äußert, waren Jungpflanzen beim Einbruch des ersten Frostes grundsätzlich noch auffallend grün gefärbt. Der Frost führte dann zum Einstellen des Wachstums und damit einhergehendem „Abtrocknen“ der oberirdischen Biomasse im grünen Zustand.

6.3.2.4 Reservestoffeinlagerung

Laut Literaturangaben werden bei *Miscanthus* in erster Linie bereits gebildete, mehrjährige Rhizomteile zur Reservestoffspeicherung genutzt. Ergänzend hierzu sei die von Greef [31] beschriebene Beobachtung erwähnt, dass im 1. und 2. Jahr der Etablierung eine erhöhte Stärkeeinlagerung in die Rhizomneuanlagen stattfindet, die mit zunehmenden Alter des Bestandes in die älteren Rhizomteile verlagert wird.

Im Altrhizom einer 6-jährigen *Miscanthus x giganteus*-Pflanze wurde nahezu die doppelte Menge an Stärke vorgefunden als in jungen Rhizomteilen (Abbildung 60). Vergleicht man dazu die Gehalte an Kohlenhydraten (Abbildung 61), so ist in Hinblick auf die Stärkekonzentration eine gegenläufige Synchronisation festzustellen, mit Ausnahme der Knospen und Feinwurzeln. Es liegt der Schluss nahe, dass ein stetiger Wechsel im Ab- und Aufbau von Stärke und Kohlenhydraten stattfindet. Auch wird deutlich, dass das Altrhizom in erster Linie als Speicherorgan für Stärke dient. Der Speicherumfang an Kohlenhydraten nimmt von der Rhizomneuanlage über das 2-jährige Rhizom zum Altrhizom hin deutlich ab. Höchste Kohlenhydratwerte sind in den Knospen festzustellen, wobei von September bis Dezember ein Anstieg der Kohlenhydratkonzentration zu verzeichnen ist, die in den Wintermonaten auf vergleichsweise hohem Niveau bleibt und als Frostschutz interpretiert werden kann. Erst im März nimmt die Konzentration ab, was auf Atmungsverluste zurückzuführen sein dürfte.

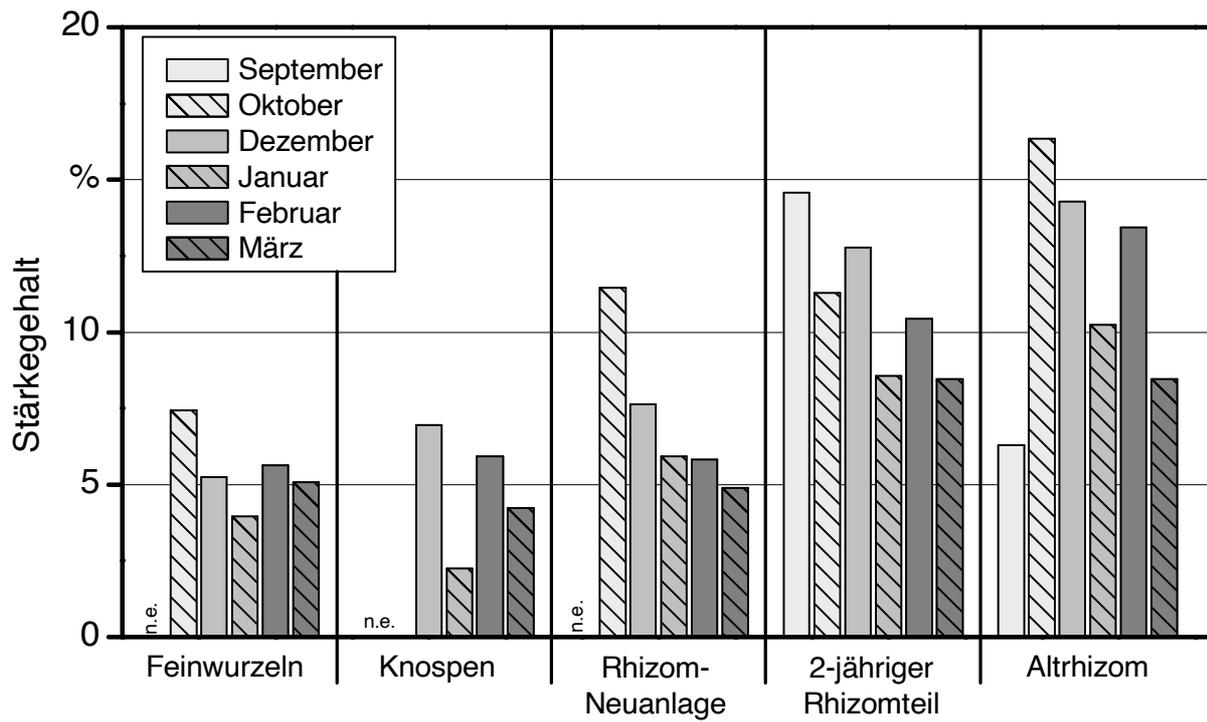


Abbildung 60: Verteilung des Stärkegehalts innerhalb verschiedener, unterirdischer Biomassebereiche eines 6-jährigen *Miscanthus x giganteus*-Rhizoms (Sept. 1996 bis März 1997)

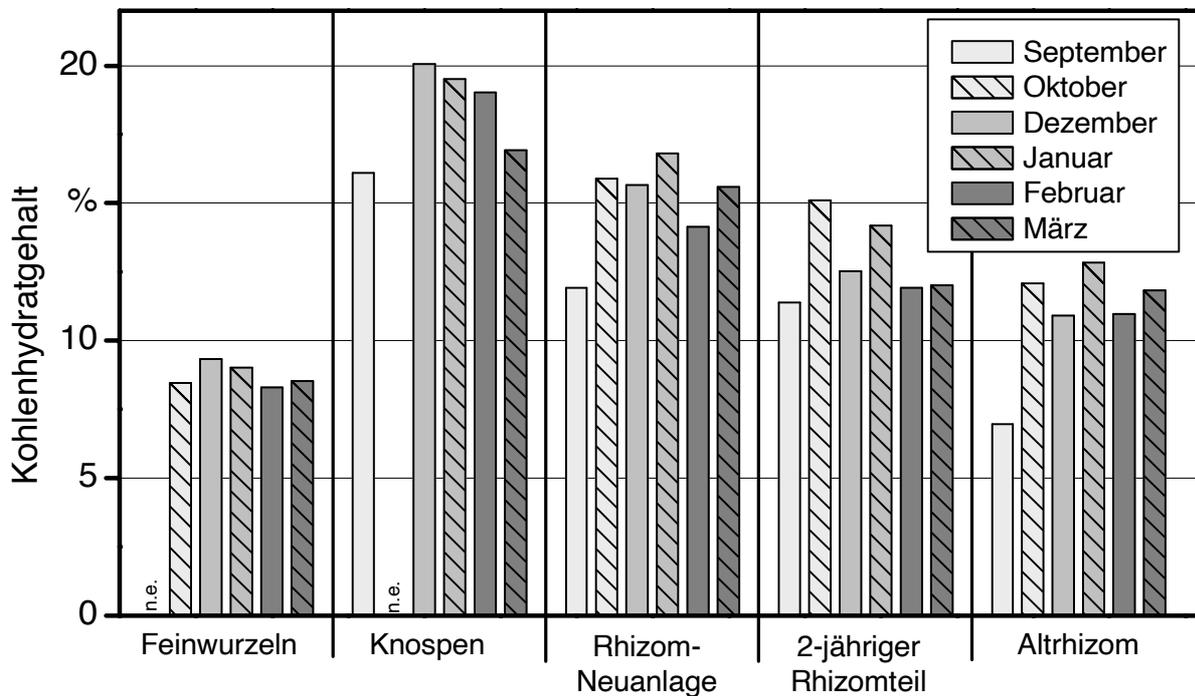


Abbildung 61: Verteilung des Kohlenhydratgehalts innerhalb verschiedener, unterirdischer Biomassebereiche eines 6-jährigen *Miscanthus x giganteus*-Rhizoms (Sept. 1996 bis März 1997)

Betrachtet man den Stickstoffgehalt der einzelnen Fraktionen (Abbildung 62), so stehen die Knospen mit höchsten Werten an der Spitze, mit maximalen Werten im September und Februar. Als Quellen könnten Einlagerungen aus dem Spross in Frage kommen. Feinwurzeln, 2-jähriges Rhizom und Altrhizom spielen mit Werten um 0,5 % N nur eine untergeordnete Rolle und weisen auch nur geringe Schwankungen auf. Knospen und Rhizomneuanlagen sind Orte mit potenziell hohem Syntheseleistungsvermögen und daher grundsätzlich im Stickstoff- und Mineralhaushalt gut versorgt, im Gegensatz zu Altrhizom und 2-jährigem Rhizom, die als Organe mit überwiegender Speicherfunktion im Stärkegehalt an höchster Stelle stehen.

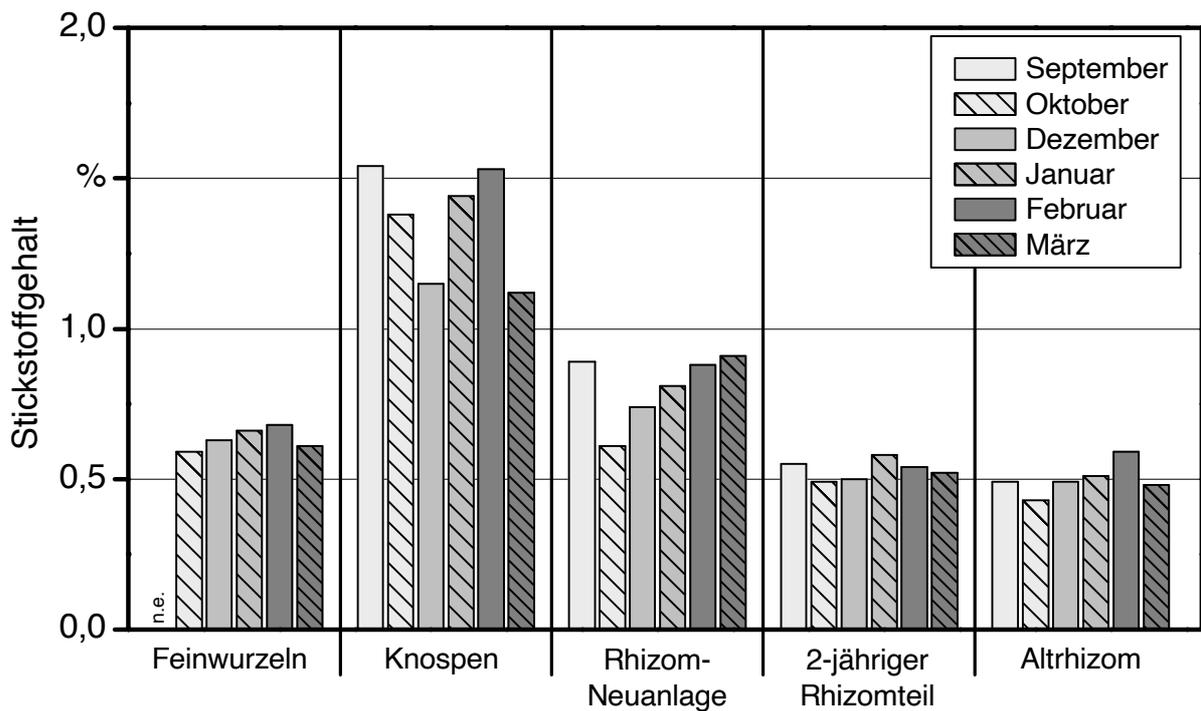


Abbildung 62: Verteilung des Stickstoffgehalts innerhalb verschiedener, unterirdischer Biomassebereiche eines 6-jährigen *Miscanthus x giganteus*-Rhizoms (Sept. 1996 bis März 1997)

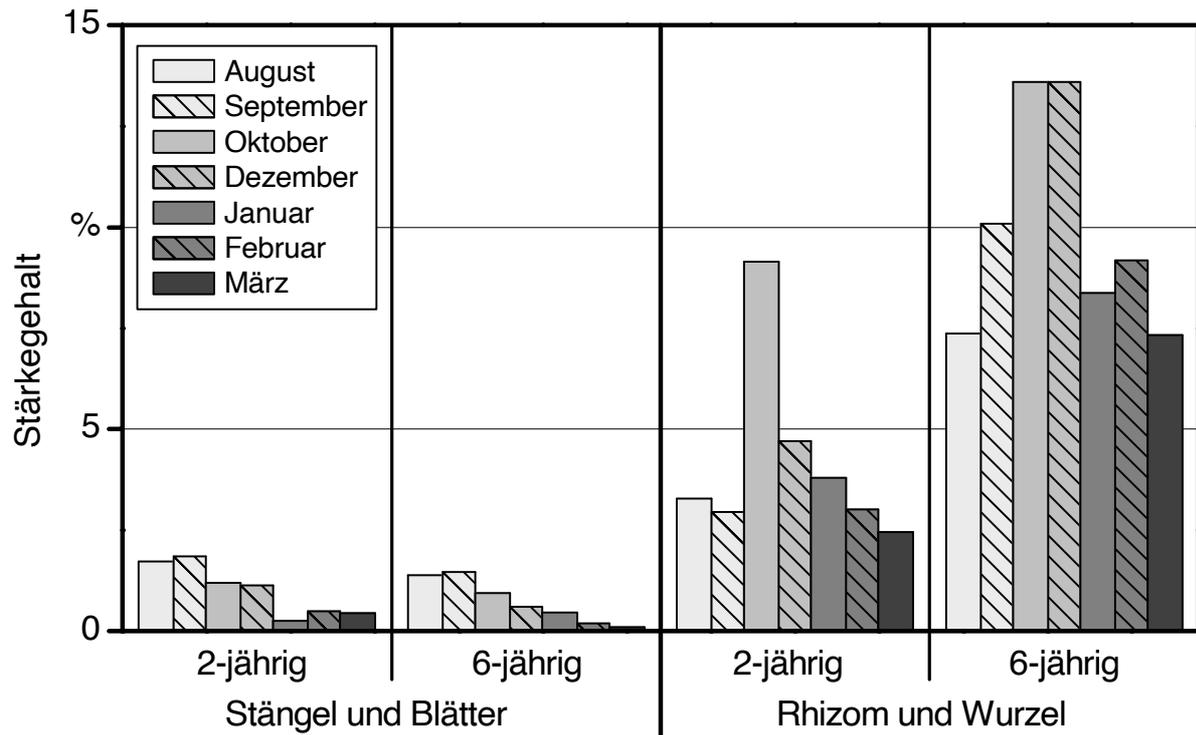


Abbildung 63: Entwicklung der Stärkegehalte in ober- und unterirdischen Organen bei verschiedenen alten *Miscanthus x giganteus*-Pflanzen (August 1996 bis März 1997)

Aufgrund der hohen Stärkeanteile im Altrhizom liegt der Stärkegehalt im Rhizom älterer Pflanzen insgesamt höher als in Rhizomen von Jungpflanzen. Abbildung 63 und Abbildung 64 zeigen dies, sowie den zeitlichen Schwerpunkt der Stärkeeinlagerung im Herbst. Möglicherweise wirkt sich diese Stärkeeinlagerung ins Altrhizom auch positiv auf die Überwinterungsfähigkeit der älteren Pflanzen aus.

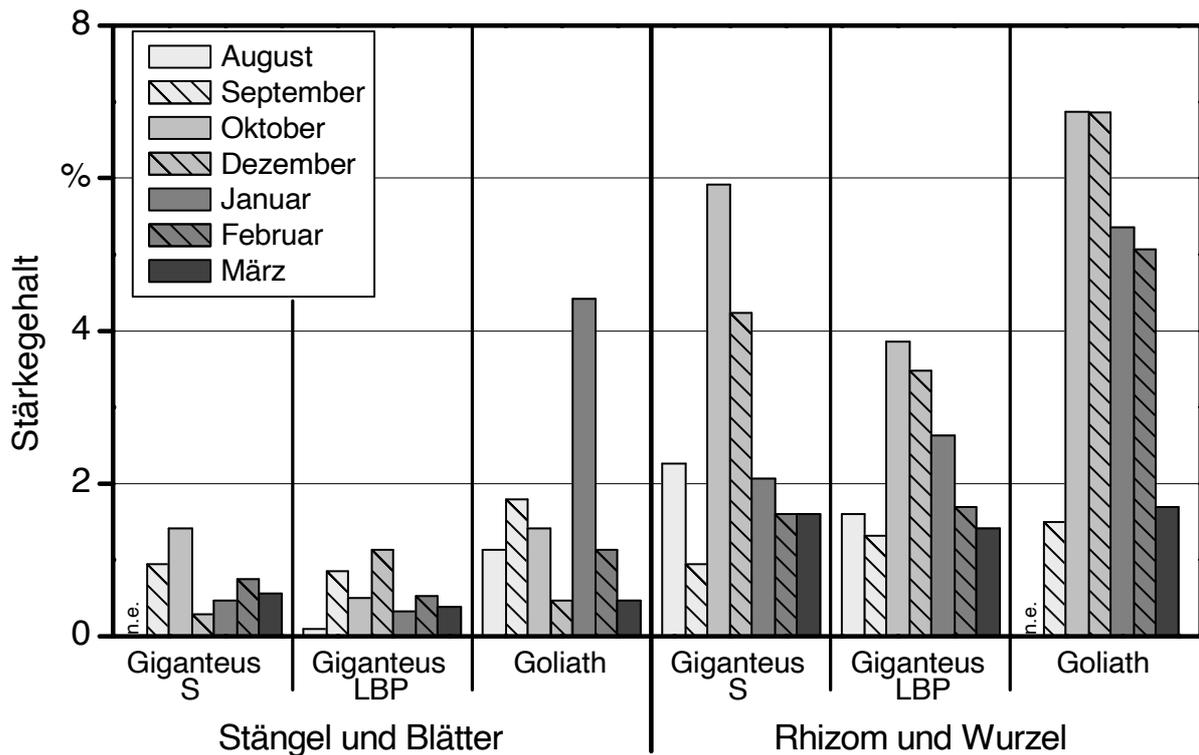


Abbildung 64: Entwicklung der Stärkegehalte in ober- und unterirdischen Organen bei verschiedenen *Miscanthus x giganteus* und *M. sinensis* 'Goliath' von August 1996 bis März 1997; Herkünfte: S = Schweiz; LBP = frühere Bayerische Landesanstalt für Bodenkultur und Pflanzenbau

6.4 Zusammenfassung

Mit Anwachsrate von bis zu 100 %, geringen und zum Teil ausbleibenden Winterausfallraten und einem Ertragsmaximum von 25 t Trockenmasse wurde das große Potenzial der untersuchten Miscanthustypen als landwirtschaftlich interessante Kultur bestätigt. Neben Sorten, die aufgrund einer ausbleibenden oder späten Blütenentwicklung nicht das Problem einer Florenverfälschung aufwarfen, konnten auch ertragsstarke Typen für eine Kreuzung getestet werden.

Deutlich stellte sich die größere Winterhärte von Rhizomstücken als Pflanzgut im Gegensatz zu *In-vitro*-Jungpflanzen heraus, die besonders ausgeprägt an exponierten Standorten auftrat. Je tiefer die Rhizome in den Boden gesetzt wurden, desto geringer fiel die Anwachsrate aus. Eine Behandlung der Bestände mit 1,5 l ha⁻¹ Camposan (Wirkstoff: 2-Chlorethyl-Phosphorsäure) im August führte zu deutlich höheren Überwinterungsraten. Eine Abdeckung der Neupflanzung mit z. B. Stroh dient als schützende Mulchschicht, so dass ebenfalls weniger Winterausfälle auftreten können.

Der Vergleich verschiedener Standorte und Jahre hinsichtlich der Überwinterungsrate birgt eine Reihe von Unsicherheitsfaktoren. Selbst bei gleichen Böden und Exposition des Standortes, ist von unterschiedlichen, kleinklimatisch bedingten Wuchsbedingungen während der Vegetationsperiode auszugehen. Nicht zuletzt spielt die zuvor erwähnte Pflanztiefe der Einzelpflanzen eine Rol-

le. Aufgrund unterschiedlicher Rhizomqualität und deren Zustand können sich auch bei vergleichbaren Winterverläufen differente Ausfallraten ergeben, was die Interpretation der Ursachen sehr erschwert.

Insgesamt wurde deutlich, dass Jungpflanzen von *Miscanthus x giganteus* später in die Phase der Winterruhe übergehen, mit der Folge höherer Ausfallraten. Bei älteren Pflanzen und Jungpflanzen der Sorte *Miscanthus sinensis* ‚Goliath‘ war dies nicht der Fall.

Aus den Untersuchungen der Reservestoffeinlagerung geht deutlich hervor, dass ältere Rhizome vor allem als Speicherorgan für Stärke fungieren, während die höchsten Gehalte an Kohlenhydraten in Knospen gefunden wurden. Die Stärkeeinlagerung in älteren Rhizomen könnte der Erhöhung der Winterhärte dienen und somit die höhere Überwinterungsrate älterer Rhizome erklären.

7 Miscanthusanbau durch Vermehrung über Saatgut (LWG)

7.1 Zielsetzung

Die hier dargestellten Erkenntnisse sind eine Kurzfassung des Berichtes aus dem Jahr 2003 zum Projekt der LWG „Züchterische Bearbeitung und Bereitstellung spätreifender Miscanthus-Sorten unter besonderer Berücksichtigung ihrer stofflichen Eigenschaften“, gefördert durch die Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V. (FNR).

Das Forschungsprojekt war ein gemeinsames Vorhaben der Firma TINPLANT Biotechnik und Pflanzenvermehrung GmbH in Klein Wanzleben und der Bayerischen Landesanstalt für Weinbau und Gartenbau (LWG) in Veitshöchheim, Abteilung Landespflege, die auch als Koordinator fungierte. In dem Projekt sollten durch Kreuzung und Selektion Hybriden gefunden werden, die sich kostengünstig durch Samen vermehren lassen, um die Aufwendungen bei der Bestandesetablierung im Vergleich zur vegetativen Vermehrung erheblich zu senken. Ziel war hierbei eine Halbierung der Pflanzgutkosten von ca. 0,35 € pro *In-vitro*-vermehrter Jungpflanze durch eine Anzucht über Saatgut in Multitopfpaletten. Ein weiteres Ziel dieses Projektes war, unter den gegebenen Anbaubedingungen winterharte und leistungsstarke Genotypen zu selektieren. Eine späte Reife sollte gewährleisten, dass keine Samen gebildet werden, die eine unkontrollierte Ausbreitung ermöglichen würden.

7.2 Material und Methoden

Die in Multitopfplatten angezogenen Jungpflanzen der jeweiligen Kreuzungen (*Miscanthus sacchariflorus* und *Miscanthus sinensis*-Typen) wurden am Standort „Meidl“ in der Gemarkung Güntersleben, Landkreis Würzburg, ausgepflanzt. Beim vorliegenden Boden handelt es sich um einen Lössboden aus tiefgründigem, schluffigen Lehm, mit einer Ackerzahl von 83. Im langjährigen Mittel fielen 606 mm Niederschlag bei einer Jahresdurchschnittstemperatur von 9,1 °C. Der Pflanzabstand betrug jeweils 0,90 m x 0,80 m.

Eine erste Kreuzungsreihe wurde 1999 durchgeführt. 25 Absaaten (F1-Generation) wurden Ende Mai 2000 ausgepflanzt. Die Pflanzenzahl schwankte in Abhängigkeit vom Saatgutertrag der jeweiligen Kreuzung (13 Parzellen mit je 500 Pflanzen, 7 Parzellen mit 180 bis 335 Pflanzen). Anfang Juni 2001 wurden weitere 12 Absaaten aus einer neuen Kreuzungsreihe ausgepflanzt. Die Zahl der Individuen schwankte zwischen 21 und 1256. Eine dritte Kreuzungsreihe wurde Mitte Juni 2002 ausgepflanzt. Hier wurden sechs Parzellen mit 288 bis 382 Individuen ausgepflanzt.

7.3 Ergebnisse und Diskussion

Einige Kreuzungen der ersten Kreuzungsreihe, die am 24. und 25.05.2000 gepflanzt wurden, überraschten mit sehr guten Ergebnissen (Tabelle 23). So zeigte Kreuzung 9 schon nach dem drit-

ten Standjahr (inkl. Pflanzjahr) einen Trockenmasseertrag von 15,7 t ha⁻¹, trotz einer Anwachsrate von nur 84 %. Die Überwinterungsrate 2000/2001 lag bei hervorragenden 100 %.

Tabelle 23: Anwachsrate, Überwinterungsrate, Trockenmasseertrag und Trockensubstanzgehalt der jeweils ausgepflanzten F1-Generation von 20 Miscanthuskreuzungen in „Bieg-Meidl“ (Güntersleben)

Kreuzung	Anwachsrate	Überwinterungsrate	Ertrag	Ertrag	TS
	2000	2000/2001	2002	2003	2003
	[%]	[%]	[t TM ha ⁻¹]	[t TM ha ⁻¹]	[%]
1	97	100	4,0	10,9	85,0
2	97	100	4,6	13,8	84,6
3	99	100	5,5	12,9	78,4
4	100	100	3,8	11,2	83,7
5	90	100	5,6	13,5	84,6
6	99	100	6,0	13,1	84,5
7	80	89	2,7	8,6	84,4
8	96	100	6,2	13,7	83,3
9	84	100	7,6	15,7	81,1
10	97	94	3,8	10,0	82,0
11	98	100	3,6	8,7	82,3
12	88	89	0,8	3,8	80,6
13	84	79	0,2	1,2	72,8
14	94	81	1,3	4,5	78,4
15	96	92	1,2	5,4	78,9
16	93	81	0,6	2,3	73,0
17	97	88	0,8	4,5	77,3
18	88	88	1,2	5,1	79,1
19	89	77	0,8	3,8	80,0
20	72	100	2,7	3,3	82,8

Zwar zeigte sich der Bestand dieser F1-Generationen im Vergleich zu Klonpflanzen erwartungsgemäß deutlich inhomogener, doch scheint dies auf den Gesamtertrag keine negative Auswirkung zu haben. Zudem deutete sich an, dass sich die Homogenität im Bestand, zum Beispiel in Hinblick auf die Halmhöhen, von Jahr zu Jahr verbessert. Schwache Pflanzen dürften zunehmend von stärkerwüchsigen verdrängt werden. Eingeschränkt gilt dies jedoch für die Blütenentwicklung. Hier sollte zur Minimierung der Gefahr einer Florenverfälschung der überwiegende Anteil der Pflanzen nicht zur Aussamung kommen. Dies trifft mit hoher Sicherheit bei sechs Kreuzungen zu. Bei Kreuzung 9 war im Jahr 2001 noch ein Anteil von 23 % der Nachkommen als kritisch im Hinblick auf eine eventuelle Aussamung zu betrachten. Im Jahr 2002 hatte sich dieser Wert auf 14 % reduziert.

Von sechs aussichtsreichen Miscanthuskreuzungen, gepflanzt am 24. und 25.05.2000, wurden in den Folgejahren weiterhin die Trockenmasseerträge ermittelt. Tabelle 24 gibt einen Überblick über die erzielten Erträge bis zum Jahr 2008. Es fällt auf, dass die höchsten Erträge allgemein nach dem dritten Standjahr erzielt wurden (Ertrag 2003). Im Hitzejahr 2003 gingen die Erträge

um bis zu 3,3 t ha⁻¹ (= 21 %) bei Kreuzung 9 zurück. Die Niederschläge lagen im Zeitraum April bis August bei nur noch 196,3 mm, der Jahresniederschlag bei 443,4 mm, während sonst meist Werte über 600 mm erreicht wurden (Tabelle 24). Am geringsten ist der Rückgang bei Kreuzung Nr. 8. Der Ertrag sinkt hier um lediglich 0,6 t ha⁻¹, was einem Rückgang von 4,4 % entspricht. In den folgenden zwei Jahren werden meist keine großen Ertragssteigerungen festgestellt. Erst im Jahr 2006 (Ertrag 2007) ist wieder ein deutlicherer Zuwachs ersichtlich. Allerdings werden erst zur Ernte 2008 bei zwei Kreuzungen (Nr. 5 und Nr. 8) die hohen Werte der Ernte 2003 knapp erreicht oder sogar leicht überschritten. Die stärkste Ertragssteigerung fand im dritten Wuchsjahr statt (Ertrag 2003). Die Trockensubstanzgehalte (TS %) schwankten in der Regel zwischen 71 % und 88 %. Lediglich im Erntejahr 2006 lagen die TS-Gehalte zwischen 60,7 % und 71,4 %, da hier die Ernte bei sehr nasser Witterung erfolgte.

Tabelle 24: Anwachsrate und Trockenmasseerträge der F1-Generation von 6 ausgewählten Miscanthuskreuzungen in „Bieg-Meidl“

Jahr	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	
Jahresniederschlag [mm]	526	699	791	443	609	602	627	734		
Niederschlag Apr. - Aug. [mm]	249	233	297	196	340	263	324	348		
	Anwachsrate			Ertrag						
Kreuzung	[%]			[t TM ha ⁻¹]						
2	97			4,6	13,8	10,8	11,6	11,3	12,0	12,1
3	99			5,5	12,9	10,5	11,2	9,6	12,4	12,4
5	90			5,6	13,5	11,0	11,5	11,6	13,3	13,7
6	99			6,0	13,1	11,3	10,9	12,0	12,3	12,1
8	96			6,2	13,7	13,1	11,6	12,4	13,4	13,6
9	84			7,6	15,7	12,4	12,1	13,3	13,5	11,8

Im Vergleich hierzu erzielte Miscanthus x giganteus im Erntejahr 2008 nach 15 Standjahren am Standort Güntersleben einen Trockenmasseertrag von durchschnittlich 23 t ha⁻¹.

Tabelle 25: Anwachsrates, Überwinterungsrate und Trockenmasseertrag der F1-Generation von 12 Miscanthuskreuzungen in „Bieg-Meidl“

Kreuzung	Anwachsrates	Überwinterungsrate	Ertrag					
	2001	2001/2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008
	[%]	[%]	[t TM ha ⁻¹]					
1	91	94	1,6	3,3	12,7	2,7	10,0	-
2	72	96	3,3	8,1	3,2	9,7	13,8	4,6
3	94	90	3,5	9,1	4,6	9,1	6,5	11,6
4	81	100	3,1	8,8	-	9,1	12,3	11,0
5	67	71	0,6	2,5	12,9	5,7	5,6	16,4
6	79	67	0,2	0,9	6,3	6,2	5,7	8,8
7	78	80	0,7	3,0	7,4	8,2	9,9	10,5
8	98	95	1,9	5,1	9,7	7,6	8,8	14,3
9	89	67	1,1	4,1	8,0	5,3	6,3	16,3
10	85	97	3,6	7,5	6,6	7,0	13,9	9,9
11	81	88	2,4	4,6	9,0	5,7	11,5	-
12	62	96	2,2	6,5	2,9	8,0	12,5	5,7

Die Anwachsrate der zweiten Kreuzungsreihe (Pflanzung 2001, Tabelle 25) lagen deutlich niedriger als bei der ersten Kreuzungsreihe, was jedoch auch mit dem etwas späterem Pflanztermin in Verbindung stehen könnte. Die Überwinterungsrate lagen mehrheitlich über 90 %. Interessant erscheinen vor allem die Kreuzungen 5 und 9, die zur Ernte 2008 Trockenerträge von jeweils deutlich über 16 t ha⁻¹ erzielten. Über den gesamten Zeitraum gesehen zeigten sich in dieser Kreuzungsreihe jedoch größere Schwankungen zwischen den Jahren. Möglicherweise handelt es sich hierbei jedoch um Ernteeffekte. Die Trockensubstanzgehalte (TS %) schwankten (mit Ausnahme der Ernte 2006) zwischen 65,1 % und 90,2 %. Bei der Ernte 2006 lagen die TS-Gehalte aufgrund der feuchten Witterung zwischen 56,4 % und 74,2 %.

Bei einer dritten Kreuzungsreihe mit sechs Absaaten im Jahr 2002 (Tabelle 26) überzeugten hohe Anwachsrate von 100 % oder nur knapp darunter sowie Überwinterungsrate von meist über 90 %. In Hinblick auf die Trockengewichtserträge zeigten die Kreuzungen 3 und 4 nach dem 5. Standjahr (Ernte 2007) Ergebnisse von über 18 t ha⁻¹. Die Kreuzung 1 erzielte zur Ernte 2008 17,5 t Trockenmasse ha⁻¹. Die TS-Gehalte schwankten hier deutlich zwischen 46,7 % und 91,7 %. Die niedrigen Werte lassen sich auch hier auf ungünstige Erntebedingungen (Regen) zurückführen.

Tabelle 26: Anwachsrate, Überwinterungsrate und Trockenmasseertrag der jeweils aufgepflanzten F1-Generation von 6 Miscanthuskreuzungen, Standort „Bieg-Meidl“, Güntersleben

Kreuzung	Anwachsrate	Überwinterungsrate	Ertrag				
	2001	2001/2002	2004	2005	2006	2007	2008
	[%]	[%]	[t TM ha ⁻¹]				
1	100	98	3,5	6,9	4,9	12,8	17,5
2	99	100	3,4	5,9	4,8	10,4	14,0
3	100	94	3,2	6,0	12,5	18,1	15,3
4	100	99	-	9,5	12,4	18,2	14,7
5	94	79	-	4,2	9,6	12,2	11,8
6	97	81	-	1,8	5,2	8,7	10,0

Tabelle 27: Trockenmasseertrag und Trockensubstanzgehalt von 9 Miscanthusselektionen (Selektion 2003) in „Bieg-Meidl“

Selektion	Ertrag	TS
	[t TM ha ⁻¹]	[%]
1	16,6	83,4
2	13,7	80,8
3	14,8	82,7
4	34,8	85,1
5	20,5	82,3
6	24,2	85,6
7	16,3	81,2
8	14,9	82,7
9	14,4	82,2

Tabelle 27 „Trockenmasseertrag und Trockensubstanzgehalt von 9 Miscanthusselektionen (2003)“ zeigt die Trockenmasseerträge von Miscanthuspflanzen, die im Jahr 2003 aus den im Jahr 2000 angelegten Parzellen selektiert wurden. Selektionskriterien waren hierbei Merkmale, welche auf einen hohen Ertrag schließen lassen, wie Pflanzenhöhe sowie Anzahl und Stärke der Stängel. Dabei wurden die Einzelpflanzen im Jahr 2005 vermehrt und ausgepflanzt. Die geringe Stückzahl von nur neun Pflanzen je selektierter Einzelpflanze verringert jedoch die Aussagekraft der erziel-

ten Erträge erheblich. Diese lagen bei drei Selektionen über 20 t ha⁻¹. Ein Maximum wurde mit knapp 35 t ha⁻¹ erzielt.



Abbildung 65: *Miscanthus*-Selektion 2003, 3. Standjahr (Oktober 2007)

Eine weitere Selektion wurde im Jahr 2006 durchgeführt. Es wurden 12 Pflanzen ausgewählt und vermehrt. Jeweils 10 Pflanzen wurden im Jahr 2006 ausgepflanzt. Ertragsergebnisse lagen zum Zeitpunkt der Berichtserstellung jedoch noch nicht vor. Weitere Arbeiten hierzu sollten durchgeführt werden.

7.4 Zusammenfassung

Insgesamt wird deutlich, dass die Vermehrung von *Miscanthus* über Saatgut mit dem Ziel der Auspflanzung von Jungpflanzen durchaus respektable Erträge liefern kann. Hohe Überwinterungsraten von bis zu 100 % und Erträge von rund 16 t Trockenmasse ha⁻¹ schon nach dem dritten Wuchsjahr (inkl. Pflanzjahr) belegen, dass es sich bei der Anzucht von Jungpflanzen über Saatgut in Multitopflatten um eine erfolgversprechende Methode zur Etablierung von leistungsstarken *Miscanthus*beständen handelt. Mit Kosten in Höhe von ca. 0,18 € pro Pflanze ist dies im Vergleich zur *In-vitro*-Vermehrung (ca. 0,36 € je Pflanze) auch deutlich kostengünstiger und ist vergleichbar mit den Kosten einer Rhizomvermehrung. Entscheidend ist hierbei die Auswahl der Kreuzungspartner. Damit bestehen grundsätzlich auch Chancen auf eine direkte Aussaat auf die Fläche, was durch weitere Arbeiten zu überprüfen ist. Als „Nebenprodukt“ lassen sich durch Selektionen neue ertragreiche Klone ermitteln.

8 Ertragseinfluss verschiedener Schnittzeitregime (TFZ)

8.1 Zielsetzung

Mit seinen hohen Aufwuchsraten erscheint *Miscanthus x giganteus* als potenzieller Substratlieferant für Biogasanlagen. Nach Abschluss der Hauptwachstumsphase im Sommer stehen große Mengen noch grüner Biomasse bereit, die theoretisch für die Biogasgewinnung genutzt werden könnten. Eine frühe Beerntung des grünen Aufwuchses verhindert den Blattfall über Winter und damit die Nährstoffrückführung. Immerhin verbleiben bei der Ernte der trockenen Pflanzen nach dem Winter ca. 30 % der Biomasse auf dem Feld und sorgen für eine Humusakkumulation im Boden sowie die Freisetzung der Nährstoffe aus dem organischen Material [11]. Die abfallenden Blätter bilden eine dichte Auflage über den gesamten Winter und bieten so Erosionsschutz, welches sich positiv auf Bodenleben und Nährstoffgehalte auswirkt [19]. Wird die Mulchdecke durch Ernte im grünen Zustand reduziert, könnte dies negative Folgen für die Bodenorganismen haben und im Frühjahr nur ungenügender Schutz vor Unkrautdruck bestehen. Da den Winter über keine Nährstoffe aus dem Boden aufgenommen werden, stellen die im Herbst verlagerten Nährstoffe im Frühjahr das wichtigste Nährstoffreservoir für den Neuaustrieb dar [41]. Frühe Schnitte könnten die Reservestoffeinlagerung ins Rhizom verringern und so zu einer langfristigen Schwächung des Bestandes führen.

Ausgehend von diesen Versuchshypothesen sollte mittels unterschiedlicher Schnittzeitregime bei *Miscanthus x giganteus* untersucht werden, in wieweit sich eine frühe Ernte nach der Hauptwachstumsphase auf das Wachstum und die Erträge in den Folgejahren auswirkt. Je Pflanze wurden die Triebzahl sowie der Frischmasseertrag ermittelt, um die vermutete Schwäche wirklich an der einzelnen Pflanze zu erfassen. Die Trockensubstanzgehalte wurden als Mischprobe aller Pflanzen einer Parzelle ermittelt und damit die Trockenmasseerträge der Parzellen berechnet. Regelmäßig über die gesamte Versuchsdauer wurden die Wuchshöhen gemessen. Mittels dieser Zielgrößen sollten Rückschlüsse auf die pflanzenbauliche Tauglichkeit von *Miscanthus* als Substrat für die Biogasanlage getroffen werden.

8.2 Material und Methoden

8.2.1 Versuchsaufbau und Erhebungen

In einem dreijährigen *Miscanthus*bestand in Amselfing, Niederbayern, wurde ein Versuch mit unterschiedlichen Schnittzeitpunkten angelegt. Das Versuchsdesign war eine Blockanlage mit drei Wiederholungen. Folgende Varianten des Schnittregimes wurden getestet (siehe Abbildung 66):

- Variante 1: Sommerschnitt 2006 und reguläre Ernte 2008,
- Variante 2: Sommerschnitte 2006 und 2007,
- Variante 3 (Kontrolle): reguläre Ernte 2007 und 2008.

Der Versuch begann mit einer regulären Beerntung aller Parzellen im April 2006. In den zwei Varianten 1 und 2 erfolgte noch im gleichen Jahr ein Sommerschnitt, während die Kontrollvarian-

te 3 ungestört aufwachsen konnte und erst zum normalen Erntetermin im Frühjahr 2007 beerntet wurde (Abbildung 66). Variante 2 wurde im August 2007 erneut früh im grünen Zustand beerntet, die beiden anderen Varianten regulär im Mai 2008. Die sogenannten Sommerschnitte erfolgten stets zum Ende der Hauptwachstumsphase im August, um den Ertrag zu maximieren. Gleichzeitig wurde darauf geachtet, dass die komplette Biomasse noch grün war, um so eine theoretisch bestmögliche Vergärbarkeit und Methanausbeute zu erreichen. Entsprechend dem Witterungsverlauf der einzelnen Jahre fand die reguläre Ernte zu unterschiedlichen Terminen von März bis Mai statt.

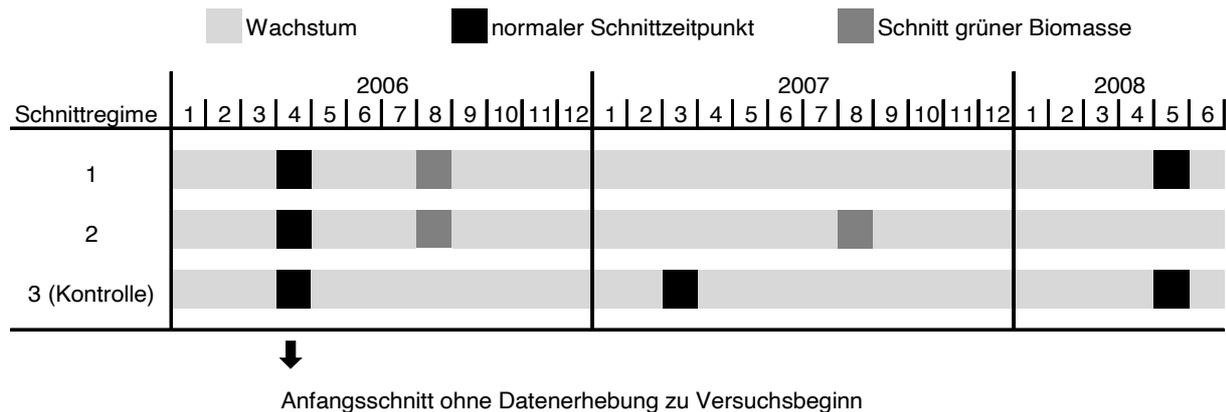


Abbildung 66: Erntezeitpunkte im Versuch: normaler Schnittpunkt im Folgejahr des Aufwuchses und früher Schnittpunkt zur Gewinnung grüner Biomasse für die Nutzung als Biogassubstrat

Die Frischmasseerträge wurden für jede Pflanze/jedes Rhizom getrennt ermittelt, wobei in diesem Bericht nur die aufaddierten Parzellenerträge dargestellt werden. Der Trockensubstanzgehalt wurde parzellenweise mittels Mischproben erhoben und damit Trockenmasseerträge je Hektar berechnet. Die Messungen der Wuchshöhe fanden anfangs je Reihe, später an sechs Stellen je Parzelle regelmäßig über die gesamte Versuchsdauer statt. An insgesamt sieben Terminen während der Versuchslaufzeit wurden die Triebe für jedes Rhizom gezählt.

8.3 Ergebnisse und Diskussion

8.3.1 Einfluss des Schnittpunkts auf die Triebbildung

Nach der einheitlichen Ernte zum regulären Schnittpunkt zu Beginn des Versuchs zeigten alle Varianten ein ähnliches Austriebsverhalten mit 33 bis 36 Trieben je Rhizom. Jedoch schon nach dem ersten Sommerschnitt der Varianten 1 und 2 bildeten die Rhizome im Laufe des restlichen Jahres weniger Triebe im Vergleich zur Kontrolle aus (Abbildung 67). Bei der Zählung im Juni 2007 wurden für den neuen Aufwuchs der Kontrolle höhere Triebzahlen festgestellt als im Vorjahr. Für Variante 1 war 2007 die Anzahl Triebe etwas höher als 2006 und Variante 2 zeigte 2007 eine ähnlich hohe Triebzahl wie im Vorjahr. Dieser Parameter bleibt somit durch einen einmaligen Sommerschnitt weitgehend unbeeinflusst. Zum Erhebungstermin im November 2007 war für

Variante 2, nach dem zweiten Sommerschnitt, eine deutliche Reduktion in der Triebzahl bei dem Wiederaufwuchs zu erkennen. Im Mai 2008 wurde die letzte Zählung direkt zur regulären Ernte durchgeführt und zeigte deutlich, dass sich die Triebzahlen von Varianten 1 und 3 über Winter verringert haben, während die kurzen Triebe von Variante 2 nicht abgebrochen und nicht reduziert waren.

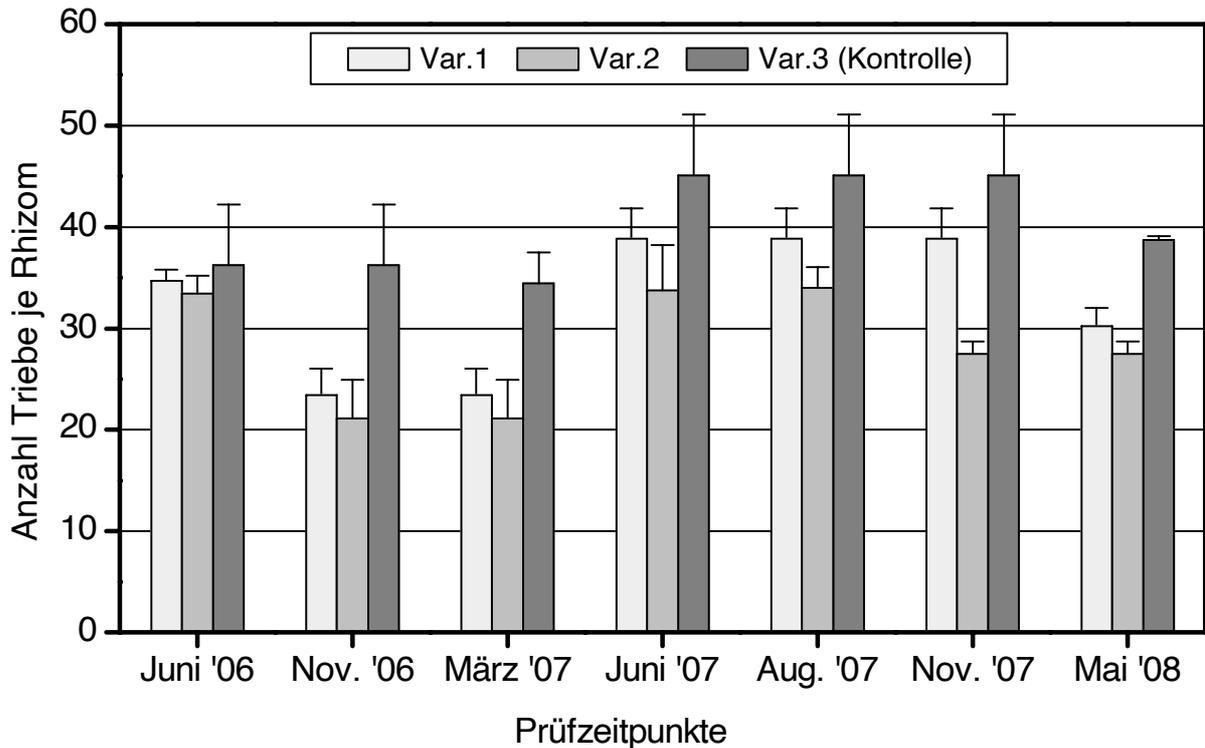


Abbildung 67: Anzahl Triebe je Rhizom unter folgenden Schnittregimen: Var. 1 = Sommerschnitt 2006 und reguläre Ernte 2008, Var. 2 = Sommerschnitte 2006 und 2007, Var. 3 = reguläre Ernte 2007 und 2008. Fehlerbalken stellen Standardfehler der Mittelwerte dar

Die Anzahl Triebe kann kaum als Indikator für eine vermutete Schwächung der Pflanzen/Rhizome herangezogen werden, da sie jahresbezogen stark schwankt und auch zwischen gleich behandelten Varianten – Varianten 1 und 2 bis August 2007 – sehr unterschiedlich sein kann. Es sollte aber festgehalten werden, dass die Pflanzen nach einem Sommerschnitt nicht mit der gleichen Triebanzahl wie vorher wieder austreiben, sondern dass der Wiederaufwuchs nur mit einer verminderten Triebzahl erfolgt.

8.3.2 Einfluss des Schnittzeitpunkts auf die Wuchshöhe

Bei der Ernte zu Beginn des Schnittzeitversuchs lagen alle Varianten auf dem gleichen Ertragsniveau und zeigen gleichmäßigen Aufwuchs. Nach dem Sommerschnitt im August 2006 in den Varianten 1 und 2 erreichten diese bis Oktober 2006 nur noch eine sehr geringe Wuchshöhe von ca.

60 cm (Abbildung 68). Auch im Folgejahr zeigte sich diese Wachstumsdepression der Varianten 1 und 2 im Vergleich zur Kontrollvariante, die regulär im Frühjahr beerntet wurde.

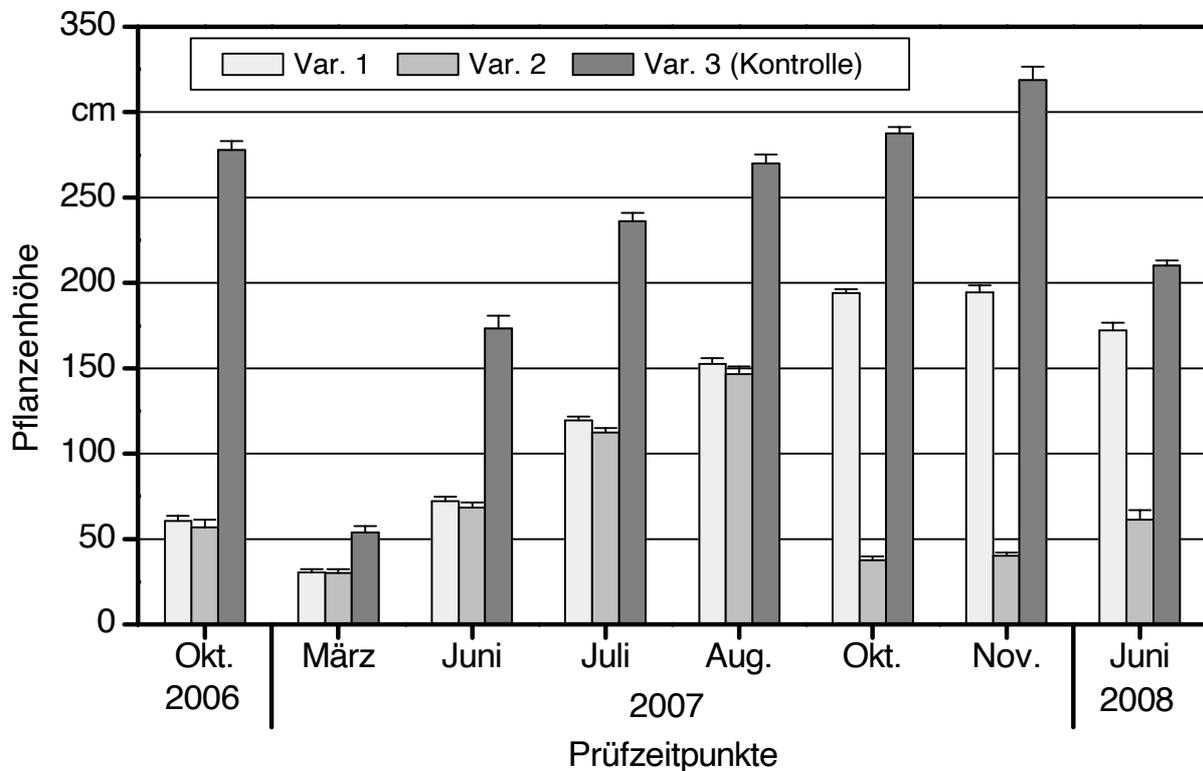


Abbildung 68: Durchschnittliche Wachstumshöhen unter folgenden Schnittregimen: Var. 1 = Sommerschnitt 2006 und reguläre Ernte 2008, Var. 2 = Sommerschnitte 2006 und 2007, Var. 3 = reguläre Ernte 2007 und 2008. Fehlerbalken stellen Standardfehler der Mittelwerte dar

Verglichen mit Variante 1 zeigt die Kontrollvariante eine sehr schnelle Wuchshöhenzunahme, im Juni war sie mit ca. 175 cm mehr als doppelt so hoch. Im Verlauf des Jahres nahm dieser Größenunterschied ab, allerdings stagnierte das Wachstum von Variante 1 bereits im Oktober bei knapp 2 m, während die Kontrollvariante noch weiterwuchs und im November ca. 3,2 m Höhe erreichte. Der Folgeaufwuchs von Variante 2, die im August 2007 erneut beerntet wurde, war mit unter 50 cm sehr niedrig. Nach der Frühjahrsbeerntung 2008 zeigte Variante 1 immer noch eine um ca. 40 cm zur Kontrollvariante verminderte Wuchshöhe, während Variante 2 im Juni gerade 60 cm Wuchshöhe erreichte.

In der sich über 2 Folgejahre hinweg abzeichnenden Wuchsdepression schon nach einem einzigen Sommerschnitt ist eine klare Schwächung des Miscanthusbestandes zu erkennen. Eine zwei Jahre hintereinander durchgeführte Beerntung grüner Biomasse im Sommer hat eine noch dramatischere Reduktion der Wuchshöhe zur Folge (Abbildung 69), von diesem Aufwuchs mit stark verminderter Wüchsigkeit ist kein ausreichender Ertrag zu erwarten.

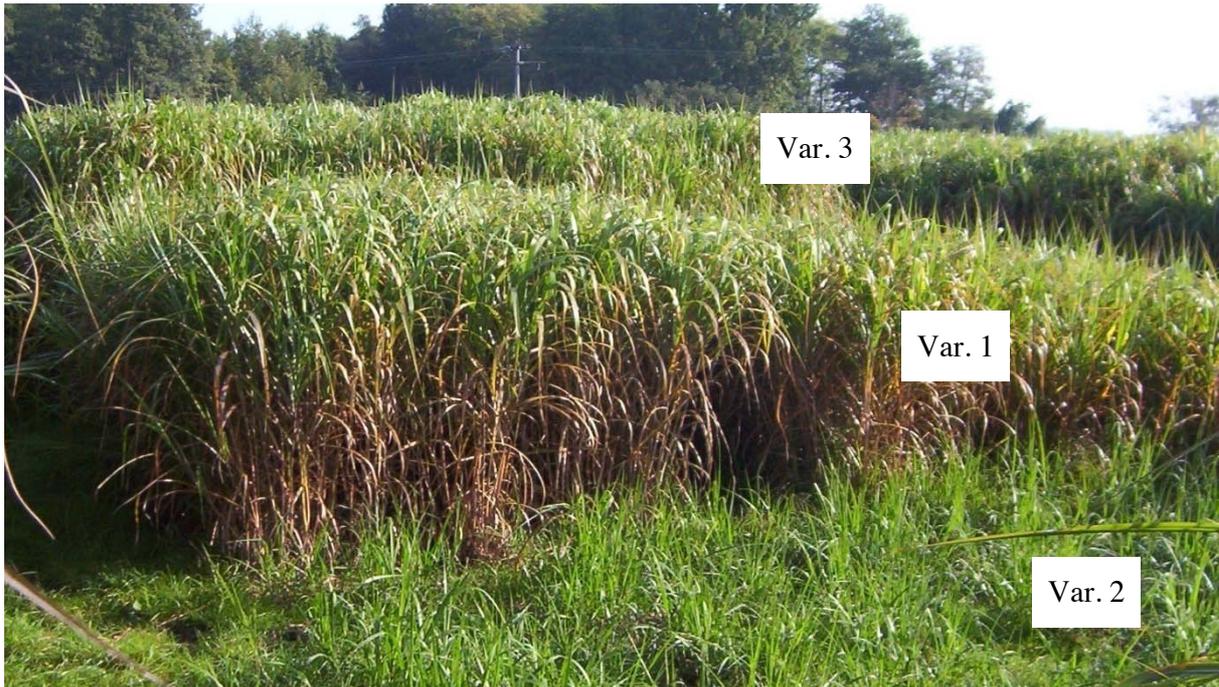


Abbildung 69: Die noch grünen Bestände der drei Schnittvarianten von *Miscanthus x giganteus* im Herbst (01.10.2007) in Amselfing, Bayern

8.3.3 Einfluss des Schnittzeitpunkts auf den Ertrag

Bei der regulären Ernte zu Versuchsbeginn im Frühjahr 2006 werden durchschnittlich über alle Parzellen 60 dt ha^{-1} Trockenmasse erzielt. In der Kontrollvariante 3 werden bei den folgenden regulären Ernteterminen im März 2007 und im Mai 2008 92 bzw. $137 \text{ dt TM ha}^{-1}$ festgestellt. Der Miscanthusbestand befindet sich noch in der Phase der Ertragssteigerung, wobei auf dem teilweise staunassen Standort keine Höchsterträge möglich sind.

Der erste Sommerschnitt grüner Biomasse 2006 in den Varianten 1 und 2 liefert 136 bzw. 128 dt ha^{-1} Trockenmasse bei einem Trockensubstanzgehalt von 29 bis 30% . Der zweite Sommerschnitt der Variante 2 im August 2007 bringt nur noch 24 dt ha^{-1} Trockenmasse bei einem Trockensubstanzgehalt von 35% hervor. Dies entspricht nur 18% des im selben Jahr aufgewachsenen und im Mai 2008 beernteten Trockenmasseertrags der Kontrollvariante. Bei der Ernte zum normalen Frühjahrstermin 2008 erreicht auch Variante 1, die 2007 ungestört wachsen konnte, nur 40% des Trockenmasseertrags der Kontrollvariante (Abbildung 71). Die Sommerschnitte haben also gravierende Ertragsdepressionen zur Folge, die sich nicht innerhalb einer Wachstumsaison wieder verwachsen (Abbildung 70).

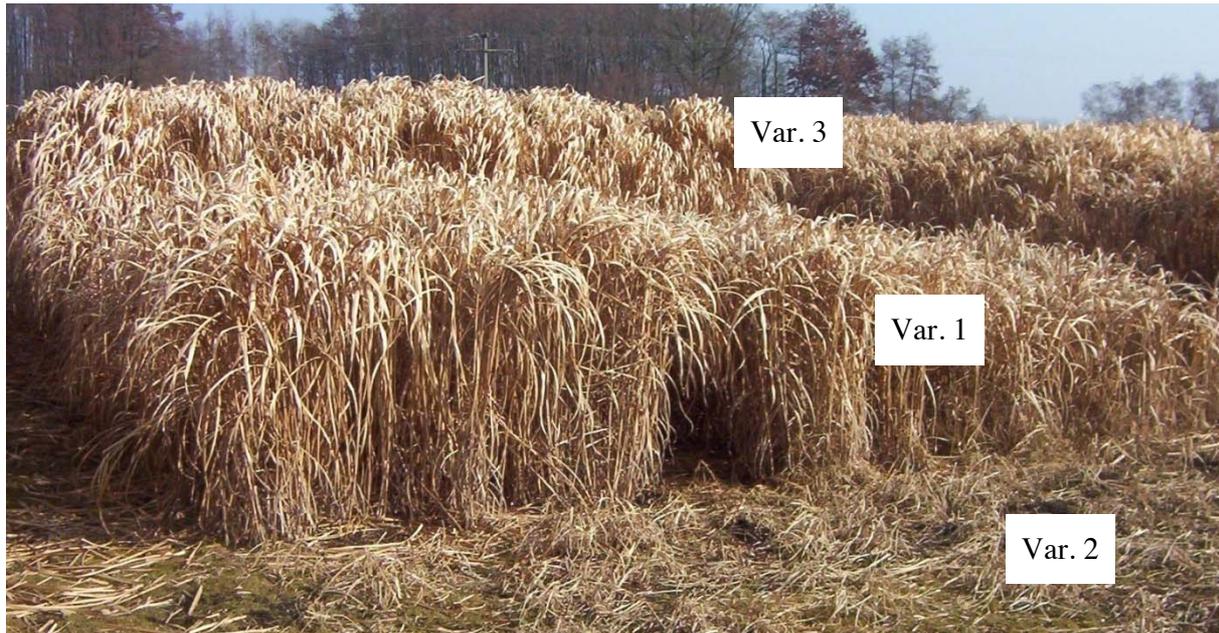


Abbildung 70: Versuchsfelder von *Miscanthus x giganteus* kurz vor der Ernte im Frühjahr (10.03.2008) mit den drei Schnittvarianten in Amselfing, Bayern

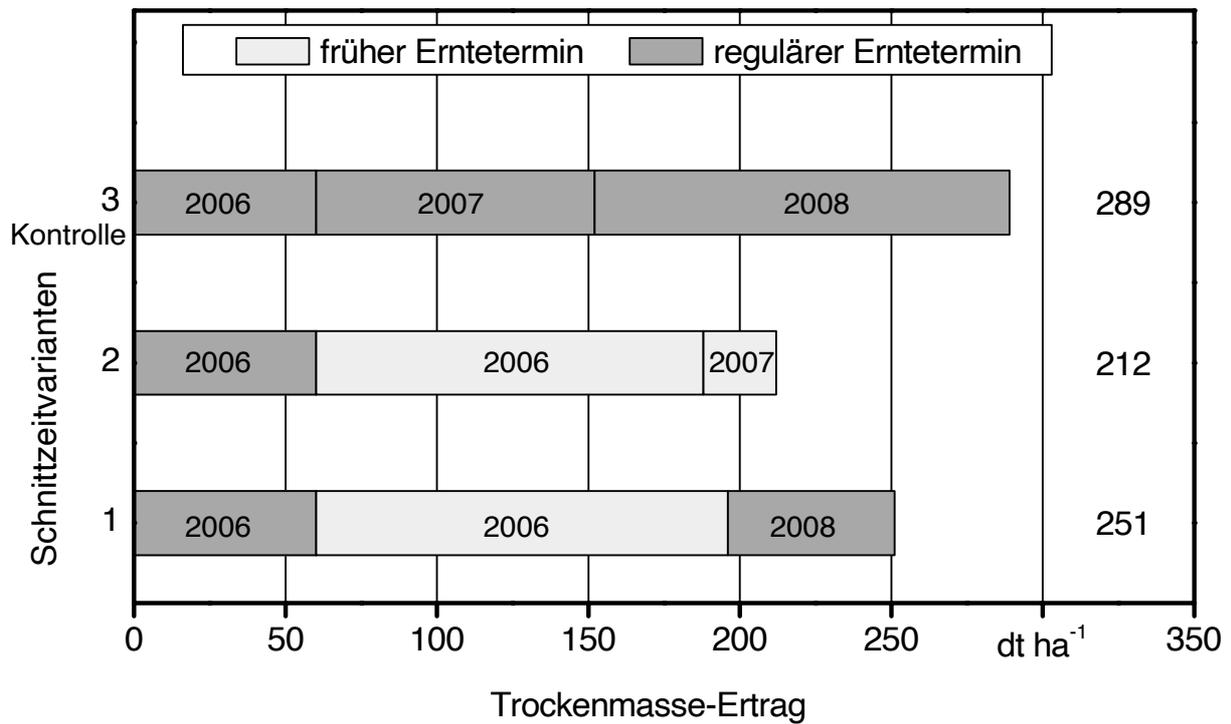


Abbildung 71: Trockenmasseerträge unter folgenden Schnittregimen: Var. 1 = Sommerschnitt 2006 und reguläre Ernte 2008, Var. 2 = Sommerschnitte 2006 und 2007, Var. 3 = reguläre Ernte 2007 und 2008

Bei einem Vergleich der im Versuchszeitraum erbrachten, aufsummierten Erträge bleibt Variante 1 13 % hinter der Kontrolle zurück, während Variante 2 mit den beiden aufeinanderfolgenden Sommerschnitten im Vergleich zur Kontrolle 27 % weniger Ertrag bringt (Abbildung 71). Lässt man bei dieser Betrachtung den einheitlich erhobenen Ertrag von 60 dt ha⁻¹ Trockenmasse zu Versuchsbeginn außen vor, verschlechtern sich die Relationen zwischen den Varianten noch weiter: der aufsummierte Ertrag von Variante 1 liegt dann 17 % unter der Kontrolle, der von Variante 2 sogar 34 %. Zusätzlich muss man bedenken, dass auch der zukünftige Ertrag von Variante 2 gemindert sein wird. Für Variante 1 ist nicht abzuschätzen, ob sich der Ertrag in 2009 wieder normalisiert.

Die mittels Sommerschnitt gewonnen maximal 140 dt FM ha⁻¹ grüner Biomasse könnten theoretisch einsiliert und dann als Biogassubstrat genutzt werden, da der Trockensubstanzgehalt über den für eine verlustfreie Silierung notwendigen 25 % liegt. Der kritische Trockensubstanzgehalt von 40 %, welcher zu einer Abnahme der Silierbarkeit führen würde, wird nicht überstiegen [13]. Allerdings kann keine Aussage über die Silierbarkeit oder Gasausbeute getroffen werden, da diese weder direkt oder indirekt über Inhaltsstoffanalysen untersucht wurden. Im Vergleich zu *Miscanthus* werden je nach Sorte Erträge bis zu 270 dt ha⁻¹ Mais, 205 dt ha⁻¹ Hirse und 241 dt ha⁻¹ Sorghum erzielt, wobei die Trockensubstanzgehalte bei einzelnen Hirsen- und Sorghumtypen teilweise weit unter den erforderlichen 25 % liegen [114].

Nach einer Studie der Bayerischen Landesanstalt für Landwirtschaft [57] liegen die Methanausbeuten mit im Herbst geschnittener *Miscanthus*biomasse mit 210 bis 225 l kg⁻¹ oTM ca. 25 % niedriger als Rübenblatt oder Sudangras. Werden die Methanerträge jedoch auf den Ertrag organischer Trockenmasse je Hektar bezogen, erzeugt *Miscanthus* einen ca. 2,5-fachen Methanertrag je Hektar aus silierten Frischmaterialien im Vergleich zu Rübenblatt und einen 1,5-fachen im Vergleich zu Sudangras. Die drei im selben Versuch der LfL getesteten Maissorten (Gavott, Mikado und KXA4171) liegen im Durchschnitt weit über allen anderen durch Biomasse erzielbaren Methanerträgen je Hektar, da bei Mais sowohl die Methanausbeute als auch vor allem der Biomassertrag hervorragend sind. Bei Untersuchungen des TFZ ergaben erste Messungen zum Methanertrag von Hirsen einen mittleren Methangasertrag von 310 l kg⁻¹ oTM, welches in der Ertragsspanne von Mais mit 250 bis 360 l kg⁻¹ oTM lag [114] und somit höhere Methanerträge je Hektar erwarten lässt als *Miscanthus*. Gleiche Ergebnisse finden sich in einer Studie der KTBL-Arbeitsgruppe „Biogaserträge“, in denen Mais im Vergleich zu *Miscanthus* einen weitaus höheren Biogasertrag ermöglicht [105]. In einer dänischen Studie konnte allerdings durch eine Vorbehandlung mit „Wet oxidation“ der Methanertrag von *Miscanthus* gesteigert und sein Anbau als Energiasubstrat somit ökonomisch dem von Mais angeglichen werden [121]. Als mehrjährige Pflanze benötigt *Miscanthus* insgesamt weniger Arbeits-, Pflanzenschutz- und Düngeraufwand als Mais [31][73]. Zudem vermindert *Miscanthus* Nährstoffverluste [1] und bietet wie andere mehrjährige Kulturen besseren Schutz für viele Wildtiere [111]. Weiterhin wird in *Miscanthus*beständen eine höhere und stabilere Biodiversität an Kleintieren, wie Insekten und Spinnen, verzeichnet, sowie erhöhtes Aufkommen bestimmter Regenwurmarten [104] und hat somit einen höheren ökologischen Wert als einjährige Kulturen und bietet aufgrund der durchgängigen Bodenbedeckung über Winter zusätzlich einen Erosionsschutz.

Trotz der relativ kurzen Versuchsdauer ist eine Verminderung der Mulchschicht mit dementsprechend höheren Nährstoffentzügen durch den Abtransport der Blätter abzusehen. Mittels Gärrest-

düngung bei Verwertung der Biomasse in einer Biogasanlage könnten die Nährstoffe wieder – in einer einzigen Gabe im Frühjahr bzw. nach dem Sommerschnitt – auf die Fläche zurückgeführt werden.

Die Daten dieser Untersuchung zeigen eindeutig eine starke Schwächung des Miscanthusbestandes durch eine Ernte über zwei Jahre im August, nach der Hauptwachstumsphase. Im Gegensatz hierzu finden sich im Internet Informationen über die Möglichkeit Miscanthus in einem Sommer zweimalig zu ernten, allerdings mit einer anschließenden Rodung der Fläche [12]. Ein solches Verfahren bietet sich also nur an, wenn der Miscanthusbestand aufgegeben werden soll.

Nach Abschluss der Wachstumsphase im Herbst werden beachtliche Mengen Nährstoffe aus den oberirdischen Pflanzenteilen in das Rhizom verlagert und im Frühjahr für den Neuaustrieb genutzt [41]. Eine Verminderung dieser Nährstoffeinlagerung in das Rhizom ist der Grund für den schlechten Aufwuchs im Folgejahr [17]. Kann der Miscanthusbestand jedoch unbeeinflusst die nächste Saison hindurch aufwachsen, werden während der Hauptwachstumsphase im Sommer wieder vermehrt Nährstoffe aus dem Boden aufgenommen. Diese stehen dann im Herbst dem internen Pflanzenzyklus zur Verlagerung in das Rhizom zur Verfügung, so dass ein besserer Aufwuchs im Frühjahr erreicht wird.

8.4 Schlussfolgerungen und Empfehlungen für die Praxis

Anhand der vorliegenden Ergebnisse zeigt sich, dass bei Miscanthus ein Sommerschnitt im August nach der Hauptwachstumszeit zu Ertragsdepressionen im Folgejahr führt und daher nicht für die Nutzung als Biogassubstrat empfohlen werden kann. Ein in zwei Jahren hintereinander durchgeführter Sommerschnitt liefert schon beim zweiten Schnitt kaum noch grüne Biomasse und lässt für die Folgejahre weit verminderte Erträge vermuten.

Ob ein anderes Schnittregime, z. B. mitten in der Hauptwachstumsphase im Mai oder kurz vor bzw. zu Beginn der Abreife im Herbst, oder eine entsprechende Ausgleichsdüngung ausreichende Qualität und Quantität für die Nutzung in Biogasanlagen liefern und einen normalen Aufwuchs im Folgejahr gewährleisten könnte, sollte in Zukunft noch untersucht werden.

8.5 Zusammenfassung über den Ertragseinfluss verschiedener Schnittzeitregime

In einem dreijährigen Versuch wurde Miscanthus in drei unterschiedlichen Schnittzeitregimen, mit und ohne Sommerschnitten zum Ende der Hauptwachstumsphase, beerntet, um die pflanzenbauliche Eignung als Biogassubstrat zu untersuchen. Neben der Ertragsermittlung je Pflanze/Rhizom wurden auch die Triebzahlen je Pflanze an 7 Terminen über die Versuchslaufzeit erfasst und regelmäßige Wuchshöhenbestimmungen durchgeführt.

Während die Anzahl Triebe kaum Rückschlüsse auf die Vitalität der Miscanthuspflanzen erlauben, bilden schon die Daten zur Wuchshöhe deutlich die mit der Ernte grüner Biomasse einhergehende Schwächung und Verminderung der Wüchsigkeit ab.

Am dramatischsten zeigen sich die Folgen bei den Ertragswerten der Varianten. Für die Kontrollvariante steigen die Erträge, zum regulären Erntetermin im Frühjahr erhoben, von 92 dt TM ha⁻¹ in 2007 auf 137 dt TM ha⁻¹ in 2008 an. Variante 1, die nach einem Sommerschnitt 2006 im Folgejahr 2007 ungestört wachsen konnte, bringt trotzdem nur 40 % des Trockenmasseertrags der Kontrollvariante. Variante 2 liefert zum zweiten Sommerschnitt nur 18 % des im selben Jahr aufgewachsenen und im Mai 2008 beernteten Trockenmasseertrags der Kontrollvariante. Die Sommerschnitte haben also gravierende Ertragsdepressionen zur Folge, die innerhalb einer Wachstumsaison nicht wieder aufgeholt werden können.

Nach jetzigem Kenntnisstand ist Miscanthus nicht als biogassubstratliefernde Kultur zu empfehlen, da die Beerntung im Sommer den Bestand langfristig schwächt.

9 Miscanthus als Lebensraum (LWG)

9.1 Zielsetzung

Die hier dargestellten Ergebnisse sind eine Kurzfassung des Projektes „Vergleichende faunistische Untersuchungen in Beständen hochwüchsiger Süßgräser (Poaceae)“ der LWG aus dem Jahr 1996.

In zunehmendem Maße wird Miscanthus auch als Strukturelement und Deckungsfläche in einer ausgeräumten Landschaft eingesetzt. Welche Auswirkung hat aber der großflächige Anbau von Miscanthus x giganteus auf die Natur? Ist diese Monokultur mit Maisflächen gleichzusetzen oder ähnelt sie der natürlichen Monokultur Schilf? Mit diesen Fragestellungen befasste sich eine vergleichende zoologische Untersuchung durch das Ecosystem-Institut, Bad Rappenau, im Auftrag der Abteilung Landespflege der Bayerischen Landesanstalt für Weinbau und Gartenbau.

9.2 Material und Methoden

Als Probeflächen wurden ein ca. ein Hektar großer Miscanthus-Bestand (im 4. Anbaujahr), ein gleich großer, in unmittelbarer Nähe befindlicher Maisacker und eine in 2000 m Luftlinie entfernte ca. 50 x 50 m messende Schilffläche (anthropogen nicht genutzt) ausgewählt. Alle Flächen lagen in der Gemarkung Erlach, Gemeinde Ochsenfurt, Landkreis Würzburg. Untersucht wurden jeweils die Bodenoberflächen einschließlich Streuschicht, die Krautschicht und der Luftraum. Arthropoden und Kleinsäuger wurden mit standardisierten Fallenfängen erfasst, größere Säuger und Vögel anhand von Stimmen, Spuren und Sichtbeobachtungen protokolliert. Der Beprobungszeitraum erstreckte sich von Mitte Juni bis Mitte Oktober 1995. Insgesamt wurden auf allen Probeflächen zusammen 1032 Einzelproben genommen bzw. Einzelerfassungen durchgeführt (441 im Miscanthusbestand, 294 in der Maisfläche, 297 in der Schilffläche).

9.3 Ergebnisse und Diskussion

9.3.1 Schutzfunktion

Für größere Säuger wie Reh oder Feldhase stellt der Miscanthusbestand eine wichtige Ersatzstruktur für Hecken und Feldgehölze dar. Dies wird vor allem in einer weitgehend ausgeräumten Flur deutlich. Gerade im Winter erhöht sich die Funktion als Deckungsfläche noch, da die Miscanthusernte in der Regel erst zu Beginn des Frühjahrs stattfindet und somit die bis zu vier Meter hohen Pflanzen über den gesamten Winter hinweg Schutz vor Räubern und Witterungseinflüssen bieten. In der Maisfläche und im Schilfbestand konnten keine größeren Säuger nachgewiesen werden.

Tabelle 28: Nachweis (●) von Kleinsäugetern und Vögeln in Miscanthus-, Mais- und Schilfflächen, 1995

	Miscanthus	Mais	Schilf
Erdmaus	●	●	
Waldmaus	●	●	●
Wanderratte	●		
Zwergmaus	●		●
Zwergspitzmaus	●		●
Feldlerche	●	●	
Goldammer	●		
Grünfink	●		
Hänfling	●		
Mäusebussard	●		
Rebhuhn	●		
Sperber		●	
Teichrohrsänger	vorjähriges Nest		●
Wachtel	●	●	



Abbildung 72: Vogelnest im Miscanthusbestand

Für Kleinsäuger wurde deutlich, dass Miscanthusbestände auch als Lebensraum (Habitat) dienen können (Tabelle 28). Für die Mais- und Schilffläche war dies nicht in diesem Umfang der Fall. Im Gegensatz zu der Maisfläche findet auf der Miscanthusfläche keine Bodenbearbeitung statt und im Vergleich mit dem Schilfbestand ist der Boden auf Miscanthusflächen in der Regel nicht staunass, wie es bei der Schilffläche der Fall war. Beide Faktoren forcieren das Vorhandensein von Erdhöhlen bauenden Kleinsäufern. Auch für Vögel wurde, über die Schutzfunktion hinaus, eine Nutzung als Brut- und Nahrungshabitat erkannt. Die Nutzung als Bruthabitat belegt z. B. ein älteres Nest eines Teichrohrsängers. Individuen dieser Vogelart ist es möglich, zwischen den recht starren Stengeln der Miscanthuspflanzen Nester zu errichten (Abbildung 72). Insgesamt wurden acht Vogelarten innerhalb der Miscanthusfläche, drei im Maisacker und lediglich eine im untersuchten Schilfbestand nachgewiesen (Tabelle 28). Die relativ hohe Akzeptanz der Miscanthusfläche für Vögel beruht vermutlich auf einem größeren und vielfältigeren Nahrungsangebot (Insekten, Wildkräuter) im nicht ganz geschlossenen Bestand.

9.3.2 Nischenreichtum

Auch für Käfer und Spinnen scheint der über das Jahr nicht bearbeitete Miscanthusbestand von großem Interesse zu sein. Insgesamt 104 Arten konnten hier nachgewiesen werden, 94 in der erheblich kleineren Schilffläche und 82 auf dem Maisacker (Abbildung 73). 24 Käfer- und 21 Spinnenarten fand man sogar nur im Miscanthusbestand allein. Man spricht von sogenannten Differentialarten, die eine Unterscheidung der Untersuchungsflächen ermöglichen.

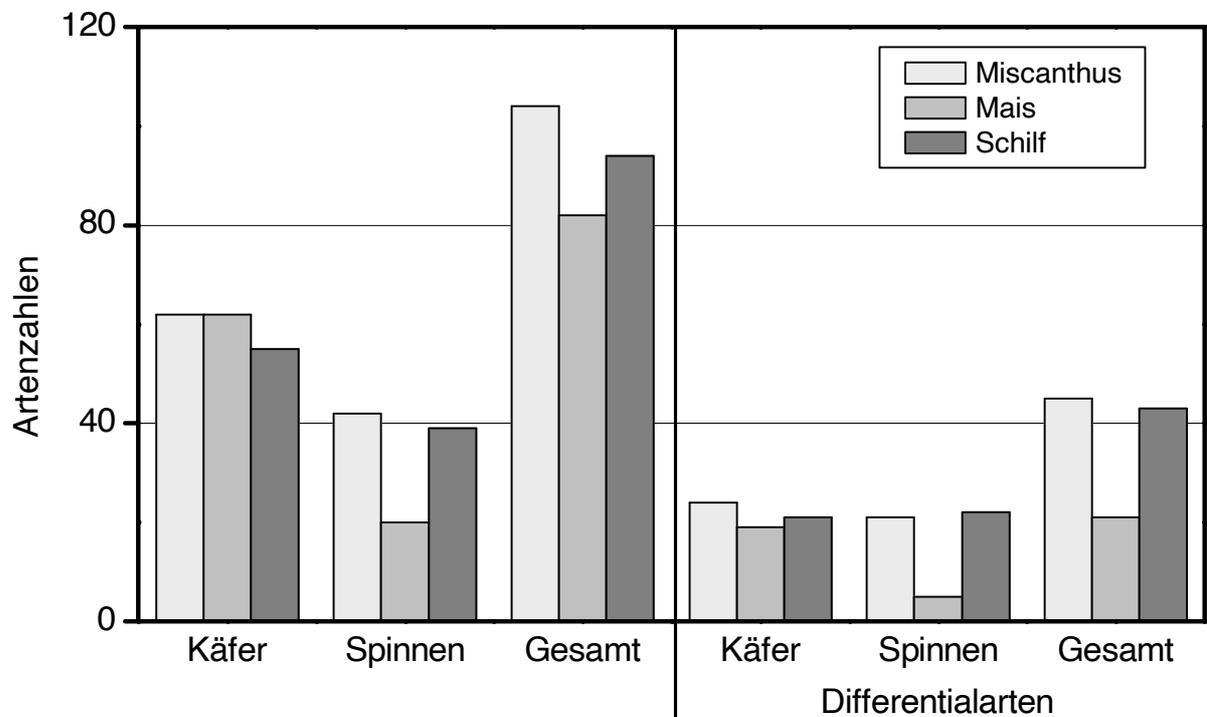


Abbildung 73: Artenzahlen in untersuchten Miscanthus-, Mais- und Schilfbeständen (Differentialarten = Arten, die nur in einer der Kulturen vorkommen) im Jahr 1995

Während in der Schilffläche eine ähnlich hohe Zahl an Differentialarten zu finden war, wurden auf dem Maisacker lediglich 19 Käfer- und fünf Spinnenarten als Differentialarten nachgewiesen. Entscheidend hierfür scheint vor allem der horstige Wuchs der Pflanzen zu sein, welcher in diesem Stadium (Alter vier Jahre) noch offene Stellen zwischen den Pflanzen zulässt. Auch eine von abgeworfenen Blättern gebildete Streuauflage sowie Lücken im Bestand tragen zum erhöhten Nischenreichtum in den Miscanthuskulturen bei. So entsteht ein im Vergleich zur Maisfläche sehr stabiles Arten-Individuenverhältnis, d. h. jede der vielen Arten wird von einer hohen Zahl von Individuen gebildet, was die Stabilität erhöht. Ähnlich verhält es sich in der Schilffläche. Auf dem ökologisch instabilen Maisacker ist die Anzahl der Kleinstbiotope deutlich geringer.

9.3.3 Biototyp

Die ökologischen Ansprüche der dominanten Arthropodenarten (Gliederfüßer) ermöglichen Rückschlüsse auf die Beschaffenheit der Standorte. Demnach stellt der Miscanthusbestand einen eher offenen und trockenen Lebensraum dar, welcher zwischen einer ungestörten und intensiv landwirtschaftlich genutzten Fläche einzustufen ist. Belegt wird dies vor allem durch die Dominanz des trockene Stellen und offenes Gelände liebenden Laufkäfers *Calathus fuscipes* sowie dem Vorkommen der vier häufigsten Spinnenarten innerhalb der Miscanthusfläche. Der Nachweis von Waldökotypen in der Miscanthuskultur lässt sich mit der Silhouette des hochgewachsenen Miscanthusbestandes begründen, die einem Waldrand ähnelt und als Anlocksignal wirkt. Insgesamt dürfte der Miscanthusbestand auch weniger stark schwankende abiotische Verhältnisse aufweisen, bedingt durch die Streuauflage sowie die Abmilderung von Luftbewegungen durch den hohen Bestand.

9.4 Zusammenfassung der faunistischen Untersuchung von Miscanthus-Beständen

Miscanthusflächen stellen ebenso wie Maisäcker künstliche Monokulturen dar. Dennoch weist ein Miscanthusbestand eine deutlich höhere Biodiversität auf, vergleichbar mit der einer Schilffläche. Eine höhere Anzahl von Tierarten im Vergleich zum Maisacker, mit ausgeglichenerer Verteilung der Individuenzahl auf die Arten, wird durch das relativ hohe Nischenreichtum der Miscanthusflächen ermöglicht. Wildkräuter im lückigen Bestand dienen als Nahrungsquelle. Als Ersatzstruktur für Feldgehölze und Hecken sind Miscanthusbestände auch für größere Säuger interessant. Gerade im Winter bieten die hochaufgewachsenen Pflanzen Schutz vor Räubern und Witterungseinflüssen.

Zusammenfassung

Um die europäischen Ziele im Rahmen „Erneuerbarer Energien und Klimaschutz“ zu erreichen und fossile Rohstoffe zu ersetzen, gewinnen Nachwachsende Rohstoffe immer mehr an Bedeutung. Eine grundsätzlich vielversprechende Pflanze ist dabei *Miscanthus* mit vielseitigen Verwendungsmöglichkeiten, beispielsweise als Ersatz für Holz für die Zellstoff- und Papierindustrie sowie als Energieträger. Sehr unterschiedliche Pflanzgutqualität bei der Rhizomvermehrung, Risiken bei der Bestandesführung und dem Absatz bzw. bei der Verwertung sind Hinderungsgründe für eine rasche Anbauausweitung von *Miscanthus*. Über 20 Jahre wurden daher Forschungsarbeiten an der Bayerischen Landesanstalt für Weinbau und Gartenbau (LWG), Abteilung Landespflege, an der früheren Bayerischen Landesanstalt für Bodenkultur und Pflanzenbau (LBP) sowie am Technologie- und Förderzentrum im Kompetenzzentrum für Nachwachsende Rohstoffe (TFZ) zu offenen Fragen bei *Miscanthus* betrieben. Im vorliegenden Bericht sind die jeweiligen Versuchsvorhaben zu *Miscanthus* beschrieben. Zunächst sind fast 20-jährige Ergebnisse zur Ertragsleistung und -sicherheit von *Miscanthus x giganteus* an drei bayerischen Standorten dargestellt, sowie ein Sortenvergleich mit *M. sinensis* 'Goliath' und *M. sinensis* 'Gracillimus'. Des Weiteren wird ein Versuch zur Keim- und Triebfähigkeit von Rhizomabschnitten beschrieben, gewonnen aus 2-jährigen, 4-jährigen und 7-jährigen Mutterrhizomen, bei unterschiedlicher Ursprungslage im Mutterrhizom. Andere Versuche befassen sich mit der Selektion neuer *Miscanthus*-Typen und der Verbesserung der Überwinterungsrate sowie der Vermehrung von *Miscanthus* über Saatgut. Des Weiteren wird dargestellt wie *Miscanthus x giganteus* auf ein bis zwei Sommerernten reagiert, um sein Potenzial als Lieferant für Biogassubstrate zu testen. Abschließend werden Ergebnisse vorgestellt zu Untersuchungen von *Miscanthus* als Lebensraum im Vergleich zu Mais und Schilf.

Langzeituntersuchungen

Um verlässliche Angaben zum mehrjährigen Anbau von *Miscanthus* zu bekommen, wurden im Zeitraum 1987 bis 1991 vielerorts Parzellenversuche angelegt. In zwanzigjährigen Untersuchungen zu Ertragsleistungen unter verschiedenen Standortbedingungen stellte sich unter anderem in einem Sortenvergleich heraus, dass großes Potenzial in sogenannten „Sinensis-Typen“ steckt. An ertragsschwachen Standorten übertreffen Sorten wie z. B. *M. sinensis* 'Goliath' den für diese Standorte ungeeigneten Cultivar *M. x giganteus* um bis zu 1 t Trockenmasseertrag ha⁻¹. Zudem erreicht die Sorte 'Goliath' früher hohe Trockenmassegehalte von bis zu 80 % im Februar, im Gegensatz zu *M. x giganteus* der vergleichbare Werte erst im März erreicht. Für die Art der Weiterverwertung, z. B. als Brennstoff sind niedrige Feuchtegehalte bedeutsam, um auf eine Nach-trocknung des Erntegutes verzichten zu können.

In Abhängigkeit von Jahr und Standort liefert *Miscanthus x giganteus* Spitzenerträge von bis zu 34 t ha⁻¹ a⁻¹, während *Miscanthus sinensis* 'Goliath' mit Spitzenerträgen in einzelnen Jahren von 21 t ha⁻¹ und *Miscanthus sinensis* 'Gracillimus' mit 16 t ha⁻¹ erheblich darunter bleiben. Im Blatt-Stängel-Verhältnis sind sich 'Giganteus' und 'Goliath' sehr ähnlich und weisen somit vermutlich die gleichen Brennstoffqualitäten auf. Anders hingegen die Sorte 'Gracillimus', deren Erntegut mit höheren Blattanteilen und dementsprechend höheren Nährstoffgehalten bei der Verbrennung zu Verschlackungen und höheren Emissionen neigt.

An allen drei Standorten ist ein kontinuierlicher Ertragsanstieg in den ersten 10 Jahren zu verzeichnen mit anschließendem Ertragsrückgang. Trotz ihrer nun fast 20 Jahre, suggeriert der Ertragsanstieg des Aufwuchsjahres 2007 die weitere Nutzungsmöglichkeit der Miscanthusbestände. Die Erträge in Freising liegen deutlich, in einzelnen Jahren bis zu $17 \text{ t ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$, höher als in Puch und Güntersleben. Eine Erklärung für die Ertragsunterschiede sind allgemeine Standort- und Bodenunterschiede, die höheren Temperaturen in Freising während der Hauptwachstumsphase, höhere Niederschläge und eventuell auch höhere P-Gehalte im Boden sowie höhere pH-Werte im neutralen Bereich. Des Weiteren scheint in Freising eine bessere N-Nachlieferung aus den dortigen Bodenvorräten gegeben zu sein, welche wichtiger für die Ertragssicherung bei Miscanthus ist als eine N-Düngung. Die Versuchsflächen in Puch liegen zudem auf einem exponierten Plateau, wo die Miscanthusbestände keinen Schutz vor Wind- oder Schneeeinfall haben. In Puch und Güntersleben treten im Vergleich zu Freising häufiger frühe Fröste im Winter ein und eine spätere Bodenerwärmung im Frühjahr, was die Wachstumsphase verkürzt und die Erträge verringert.

Eine Stickstoffdüngung bis zu $150 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ kann zu einer Ertragssteigerung führen, sofern keine anderen limitierenden Faktoren wie z. B. geringer Niederschlag oder niedrige Temperaturen vorliegen. In Freising traten bis zu 5 % höhere Blattanteile im Erntegut bei N-Düngung auf. Eine sehr hohe N-Düngung kann, wie in Güntersleben, zu gesteigerten N_{\min} -Gehalten im Herbst führen und somit die Gefahr der Nitratauswaschung im Winter erhöhen. Eine N-Düngung auf guten Standorten kann zu einer Ertragssteigerung führen, jedoch unter Umständen die Qualität des Ernteguts durch vermehrte Blattanteile verringern. Die Notwendigkeit einer Düngergabe hängt zudem stark von den jeweiligen Standortbedingungen ab. Bei gutem N-Nachlieferungsvermögen oder geringer Wasserverfügbarkeit ist eine Düngung nicht zu empfehlen. Lediglich bei ausreichender Wasserversorgung und geringem Nachlieferungsvermögen sollte mit max. 5 kg bis 8 kg N bzw. K pro Tonne geernteter Trockenmasse gedüngt werden, um den Nährstoffentzug auszugleichen.

Austriebsverhalten von Rhizomabschnitten

Bei der Anpflanzung mehrjähriger Kulturen ist die Qualität des Pflanzguts besonders wichtig, da Fehler aufgrund mangelhaften Pflanzguts nur schwer durch die Bewirtschaftung behoben werden können. Zudem ist Miscanthus in der Etablierungsphase äußerst konkurrenzschwach gegenüber Verungrasung und Verunkrautung, was durch einen hohen Fehlstellenanteil noch verstärkt werden kann. Um Aussagen über die Qualität von Pflanzabschnitten durch Rhizomvermehrung treffen zu können, wurden Gewächshausversuche zur Keimfähigkeit und Triebfreudigkeit von gewonnenen Rhizomabschnitten in Abhängigkeit von Alter des Mutterrhizoms und ursprünglicher Lage im Mutterrhizom durchgeführt.

Je älter die Mutterrhizome sind, desto geringer ist die Anzahl kleiner Augen ($\leq 5 \text{ mm}$). Die Anzahl großer Augen ($> 5 \text{ mm}$) nimmt in allen Altersstufen vom Außen- zum Innenbereich ab. Augenzahlen und Durchmesser allein sind jedoch keine ausreichenden Parameter um Qualitätsunterschiede der Rhizomstücke zu definieren.

Die homogenste, höchste Austriebsfähigkeit ist bei Rhizomabschnitten aus 4-jährigen Mutterrhizomen über alle Lagen vorhanden, und die Abschnitte 1-jährig außen zeigen mit 95 % den besten Austrieb. Rhizomabschnitte 1-jährig außen der 2-jährigen Mutterrhizome weisen 90 % Austriebe auf, während der 7-jährigen Mutterrhizome teils nur 37 % ausgetriebener Rhizomabschnitte lie-

fern. Die durchschnittliche Keimfähigkeit der Abschnitte über alle Lagen hinweg betragen 86 % bei 4-jährigen Mutterrhizomen, 83 % bei 2-jährigen Mutterrhizomen und nur 64 % bei 7-jährigen Mutterrhizomen. Weiterhin weisen die Sprosse der Abschnitte von 7-jährigen Mutterrhizomen die langsamste Entwicklung auf und bleiben im Längenwachstum bis zu 300 mm hinter den anderen Altersstufen zurück.

Bei einer Pflanzung von *Miscanthus* mittels Rhizomabschnitten, wobei im Versuch nur ein Abschnitt je Pflanzstelle ausgelegt wurde, ist mit 14 % allein durch das Pflanzgut bestimmten Fehlstellen zu rechnen. In dem vorgestellten Versuch wurden praxisunübliche Selektionsschritte durchgeführt, die höhere Austriebszahlen lieferten. In der Praxis ist somit bei Neupflanzungen mittels Rhizomvermehrung mit Fehlstellen von deutlich über 15 % zu rechnen.

Selektion neuer *Miscanthus*-Typen

Deutlich stellte sich die größere Winterhärte von Rhizomstücken als Pflanzgut im Gegensatz zu *In-vitro*-Jungpflanzen heraus, welche besonders ausgeprägt an exponierten Standorten auftrat. Eine Abdeckung der Neupflanzung mit z. B. Stroh dient als schützende Mulchschicht, so dass ebenfalls weniger Winterausfälle auftreten können.

Die Interpretation der Ursachen von Winterausfällen wird durch viele Unsicherheitsfaktoren erschwert. Kleinklimatische Unterschiede und Pflanztiefe bei sonst gleichen Standort- und Anbaubedingungen wirken sich auf die Bestandesentwicklung von *Miscanthus* aus. Insgesamt wurde jedoch deutlich, dass Jungpflanzen von *Miscanthus x giganteus* später eine Winterruhe ausbilden als ältere Pflanzen. Dies hat höhere Ausfallraten zur Folge, als dies bei älteren Pflanzen und Jungpflanzen der Sorte *Miscanthus sinensis* 'Goliath' der Fall war. Die Stärkeeinlagerung, die überwiegend in älteren Rhizomen vorgefunden wurde, könnte der Erhöhung der Winterhärte dienen und somit die höhere Überwinterungsrate älterer Rhizome erklären. Knospen wiesen hingegen den höchsten Kohlenhydratgehalt auf, welcher als Frostschutz interpretiert werden könnte.

Die vorliegenden Ergebnisse bestätigen das hohe Potenzial der in Selektionsversuchen ausgelesenen und in Parzellenversuchen getesteten neuen *Miscanthus*-Typen, die überwiegend der Art *Miscanthus sinensis* zuzuordnen sind. Anwachsrate von bis zu 100 %, Winterausfallraten von bis zu 0 % und Erträge von zum Teil mehr als 25 t Trockenmasse je Hektar sind vielversprechend. Neben Typen, die aufgrund einer ausbleibenden oder späten Blütenentwicklung kein Problem einer Florenverfälschung darstellen, konnten auch ertragsstarke Typen für eine Kreuzung getestet werden.

Vermehrung über Saatgut

Die Vermehrung von *Miscanthus* über Saatgut, mit dem Ziel der Auspflanzung von Jungpflanzen, lieferte durchaus respektable Erträge. Hohe Überwinterungsrate von bis zu 100 % und Erträge von zum Teil mehr als 18 t Trockenmasse pro Hektar nach dem 5. Standjahr überzeugten. Entscheidend ist hierbei die Auswahl der Kreuzungspartner, welche darüber hinaus in Zukunft eventuell eine Aussaat direkt auf der Ackerfläche ermöglichen könnten. Die Züchtung hierzu steht jedoch noch in ihren Anfängen.

Ertragseinfluss verschiedener Schnittzeitregime - Eignung als Biogassubstrat

Das hohe Biomassepotenzial von *Miscanthus* suggeriert eine Eignung als Biogassubstrat, was jedoch eine Sommerernte im grünen Zustand erfordert. In einem dreijährigen Versuch wurde *Miscanthus* unter verschiedenen Schnittregimen auf genau diese Eignung getestet, wobei sich die Beobachtungen auf das Wachstum und die Ertragssicherheit beschränkten.

Anhand verminderter Wuchshöhen lässt sich die Schwächung des Bestandes durch eine einmalige Sommerernte im August, oder durch zwei Sommerernten in zwei aufeinanderfolgenden Jahren, erkennen. Am deutlichsten sind die Folgen der Sommerernte bei den Ertragszahlen festzustellen. Variante 1, die nach ihrem Sommerschnitt 2006 das ganze folgende Jahr ungestört aufwachsen konnte, bringt nur 40 % des Trockenmasseertrags der Kontrollvariante. Variante 2 liefert hingegen nach dem 2. Sommerschnitt nur 18 % des im selben Jahr aufgewachsenen und 2008 geernteten Trockenmasseertrags der Kontrollvariante.

Die gravierenden Ertragsdepressionen, hervorgerufen durch eine Sommerernte im August, können innerhalb einer Wachstumsperiode nicht wieder aufgeholt werden. Allein aus pflanzenbaulicher Sicht kann *Miscanthus* nach jetzigem Wissensstand nicht als biogassubstratliefernde Kultur empfohlen werden

***Miscanthus* als Lebensraum**

*Miscanthus*flächen weisen eine vergleichbare ökologische Stabilität wie Schilfflächen auf, obwohl sie wie Maisäcker Monokulturen darstellen. Es wurden 104 Käfer- und Spinnenarten in dem *Miscanthus*bestand gefunden, 94 in der erheblich kleineren Schilffläche und 82 auf dem Maisacker. In *Miscanthus* und Schilf wurden ebenfalls höhere Anzahlen an Differentialarten von Käfern (24) und Spinnen (21) vorgefunden, im Vergleich zum Mais (Käfer = 19; Spinnen = 5). Aber auch für größere Arten bietet der *Miscanthus*bestand Schutz. Besonders im Winter stellt er mit einer Höhe von rund 3 m einen Feldgehölz- oder Heckenersatz dar, von dem gerade Rehe und Feldhasen profitieren. Wildkräuter, die sich in den geschützten Nischen des Bestandes etablieren, dienen den Säugern als Nahrungsquelle. Da im *Miscanthus*bestand weder Bodenbearbeitung stattfindet noch Staunässe vorkommt, wurden hier die höchsten Anzahlen an Kleinsäugetieren vorgefunden, die sich in diesem Habitat ansiedeln. Vögel nutzen das reichhaltige Nahrungsangebot an Insekten.

Fazit

Miscanthus kann grundsätzlich neben der stofflichen Nutzung zur thermischen Verwertung herangezogen werden. Entsprechend der 1. BImSchV gilt *Miscanthus* als Regelbrennstoff und darf daher in genehmigten Feuerungsanlagen von 15 bis 100 kW verbrannt werden. Diese müssen jedoch unbedingt auf die Verbrennung von *Miscanthus* abgestimmt sein, sind technisch aufwändiger, aber auf dem Markt bereits verfügbar. Angesichts der hohen Ertragsleistung, umfangreicher Nutzungsmöglichkeiten, geringer Ansprüche an Düngung und Pflanzenschutz sowie der positiven Ergebnisse der faunistischen Untersuchungen kann *Miscanthus* als eine interessante Energie- und Rohstoffpflanze innerhalb der zahlreichen Möglichkeiten nachwachsender Rohstoffe gesehen werden. Die langjährige Nutzungsdauer bietet einerseits Vorteile hinsichtlich ökologischer Aspekte (Reduzierung von Wind- und Wassererosion sowie von Nitrateinträgen ins Grundwasser) und

des produktionstechnischen Aufwands. Andererseits verhindert die mindestens 20jährige Bindung an eine Kultur die flexible Reaktion des Landwirts auf geänderte ökonomische Rahmenbedingungen, die der Anbau einjähriger Kulturen ermöglicht.

Offen ist derzeit noch eine verlässliche, quantifizierbare Pflanzgutqualität für die optimale Neuanlage von Miscanthusbeständen. Eine belastbare ökonomische Bewertung steht noch aus und auch die grundsätzliche, technologische Vorzüglichkeit im Vergleich zu etablierten Verwertungspfaden (z. B. Holz oder Stroh) konnte bislang noch nicht nachgewiesen werden.

Wie bei allen Energie- und Rohstoffpflanzen und deren Verwertungsmöglichkeiten sind auch bei Miscanthus, jeweils im Einzelfall, eine differenzierte technische und ökonomische Prüfung sowie der Vergleich mit anderen Alternativen erforderlich. Weitere wissenschaftliche Arbeiten zu den genannten offenen Fragen sollten den Anbau in der Praxis begleiten.

Quellenverzeichnis

- [1] ARONSSON, P. G.; BERGSTROM, L. F. (2001): Nitrate leaching from lysimeter-grown short-rotation willow coppice in relation to N-application, irrigation and soil type. *Biomass and Bioenergy*, Bd. 21, Nr. 3, S. 155-156
- [2] BAYERISCHE LANDESANSTALT FÜR LANDWIRTSCHAFT (LfL) (2002): Das Pferd: Ein Teil der Landwirtschaft. Institut für Tierhaltung und Tierschutz. Informationsblatt. München: Eigenverlag, 2 Seiten
- [3] BAYERISCHE LANDESANSTALT FÜR LANDWIRTSCHAFT (LfL) (2009): Deckungsbeiträge und Kalkulationsdaten. URL: www.lfl.bayern.de/ilb/db/14249/index.php (Datum des Zugriffs: 22.04.2009), 1 Seite
- [4] BAYERISCHE LANDESANSTALT FÜR WALD UND FORSTWIRTSCHAFT (LWF) (2005): Anbau von Energiewäldern. Merkblatt, Nr. 19. Freising: Eigenverlag, 4 Seiten
- [5] BAYERISCHE LANDESANSTALT FÜR WEINBAU UND GARTENBAU (LWG; 2001): Natur erforschen! Miscanthus – eine Entdeckung für die Umwelt. Faltblatt. Würzburg: City-Druck, 4 Seiten
- [6] BECK, A.; SCHWAB, H.; FRICKE, J. (2004): Wärmeleitung von Bauteilen mit Miscanthus. In: PUDE, R. (Hrsg.): Anbau und Verwertung von Miscanthus in Europa, 3. Internationale Miscanthus-Tagung. Kurzfassungen der Vorträge und Posterpräsentationen, Bonn, 02.-03.03.2004. Beiträge zu Agrarwissenschaften, Bd. 28. Bad Neuenahr: P. Wehle, S. 57, ISBN 3-935307-24-1
- [7] BIERTÜMPFEL, A.; GRAF, T.; VETTER, A.; WIESER, P. (2006): Ölfrüchte und Nachwachsende Rohstoffe – Großgräser. In: THÜRINGER LANDESANSTALT FÜR LANDWIRTSCHAFT (TLL) (Hrsg.): Feldversuchsbericht 2004 und 2005. Jena: Eigenverlag, S. 76-80
- [8] BIOMASS INDUSTRIAL CROPS LTD. (BICAL) (2002): Miscanthus: Facts on Miscanthus. URL: <http://www.bical.net/miscanthus.htm> (Datum des Zugriffs: 16.09.2002) 3 Seiten
- [9] BOELCKE, B. (1995): Untersuchungsergebnisse zum Einfluß der Pflanzzeit und des Termins der Stickstoffdüngung auf die Ertragsbildung von Miscanthus. In: Symposium Miscanthus: Biomassebereitstellung, energetische und stoffliche Nutzung. Vorstellung der Ergebnisse aus dem BML/VEBA OEL AG-Verbundvorhaben, Dresden, 06.-07.12.1994. Schriftenreihe Nachwachsende Rohstoffe, Nr. 4. Münster: Landwirtschaftsverlag, S. 71-86, ISBN 3-7843-2745-1
- [10] BOELCKE, B. (2000): Ertragsniveau und Nährstoffentzüge langjährig genutzter Bestände von *M. x giganteus* im Nordosten Deutschlands. In: Miscanthus – vom Anbau bis zur Verwertung. Kurzfassung der Vorträge, Bonn, 23.-24.02.2000. Beiträge zu Agrarwissenschaften, Bd. 19. Witterschlick/Bonn: M. Wehle, S. 38-42, ISBN 3-89573-101-3
- [11] BOELCKE, B.; BEUCH, S.; ZACHARIAS, S.; KAHLE, P.; BELAU, L.; AMELUNG, D. (1997): Bewertung der Umweltwirkung des Anbaus von Miscanthus als nachwachsender Rohstoff. Mitteilungen der Landesforschungsanstalt für Landwirtschaft und Fischerei Mecklenburg-Vorpommern, Gülzow, Heft 16. Plau: A. C. Froh, 184 Seiten
- [12] BOSOLD GMBH (2008): Miscanthus/ Elefanten-Gras. URL: [//bosold.projektverwaltung.info/images/informationen/061106dossiermiscanthus.pdf](http://bosold.projektverwaltung.info/images/informationen/061106dossiermiscanthus.pdf) (Datum des Zugriffs: 31.10.2008), 4 Seiten

- [13] BOXBERGER, J.; AMON, T.; MOITZI, G. (2006): Energietechnik (Alternative Energien). In: HARMS H.-H.; MEIER, F. (Hrsg.): Jahrbuch Agrartechnik, Bd. 18. VDMA Landtechnik, VDI-MEG, KTBL. Frankfurt am Main: DLG-Verlag, S. 219-224
- [14] CHEN, P.; GUSTA, L. V. (1978): The role of water in cold hardiness of winter cereals. In: LI, P. H.; SAKAKI, A.: Plant cold hardiness and freezing stressmechanism and crop implications. Academic Press Inc., S. 165-174, ISBN 978-0124476509
- [15] CHRISTIAN, D. G.; HAASE, E.; SCHWARZ, H.; DALIANIS, C.; CLIFTON-BROWN, J. C.; COSENTINO, S. (2001): Agronomy of miscanthus. In: JONES, M. B.; WALSH, M. (Hrsg.): Miscanthus for Energy and Fibre. London: James & James, S. 21-45, ISBN 1-902916-07-7
- [16] CHRISTIAN, D. G.; POULTON, P. R.; RICHE, A. B.; YATES, N. E. (1997): The recovery of ¹⁵N-labelled fertilizer applied to Miscanthus x giganteus. Biomass and Bioenergy, Bd. 12, Nr. 1, S. 21-24
- [17] CLIFTON-BROWN, J. C.; LEWANDOWSKI, I. (2002): Screening Miscanthus genotypes in field trials to optimise biomass yield and quality in Southern Germany. European Journal of Agronomy, Bd. 16, Nr. 2, S. 97-110
- [18] CLIFTON-BROWN, J. C.; LONG, S. P.; JOERGENSEN, U.; HUMPHRIES, S. A. (2001): Miscanthus Productivity. In: JONES, M. B.; WALSH, M. (Hrsg.): Miscanthus for Energy and Fibre. London: James & James, S. 46-67, ISBN 1-902916-07-7
- [19] DANY, C. (2006): Österreichischer Energiewirt setzt auf Chinaschilf. Erneuerbare Energien, Nr. 9, S. 74-75
- [20] DEUTER, M. (2005): Miscanthus – ein potentieller nachwachsender Rohstoff. Vortrag beim Fachbeirat NWR am MLU am 27.06.2005, Steckbrief, 2 Seiten
- [21] DEUTER, M.; ABRAHAM, J. (2000): Wissensstand in der Miscanthuszüchtung. In: PUDE, R. (Hrsg.): Miscanthus – vom Anbau bis zur Verwertung. Kurzfassung der Vorträge, Bonn, 23.-24.02.2000. Beiträge zu Agrarwissenschaften, Bd. 19. Witterschlick/Bonn: M. Wehle, S. 8-14, ISBN 3-89573-101-3
- [22] DEUTER, M.; ABRAHAM, J. (2002): Neues in der Miscanthus-Züchtung. In: PUDE, R. (Hrsg.): Anbau und Verwertung von Miscanthus in Europa. Kurzfassung der Vorträge zur 2. Internationalen Miscanthus-Tagung, Bonn, 26.-28.08.2002. Beiträge zu Agrarwissenschaften, Bd. 26, 1. Aufl. Bad Neuenahr: P. Wehle, S. 3-7, ISBN 3-935307-12-8
- [23] DONAU-VERLAG KRIENER UND POTTHOFF KG (1998): SERAMIS® – so sicher wie der grüne Daumen. Ratgeber für alle Pflanzenfreunde. Günzburg/Münster: Donau-Verlag Kriener und Potthoff KG, 44 Seiten, ISBN 3-87170-062-2
- [24] DRENTH, A. H. (2000): Dachdeckung aus Miscanthus in den Niederlanden. In: PUDE, R. (Hrsg.): Miscanthus – vom Anbau bis zur Verwertung. Kurzfassung der Vorträge, Bonn, 23.-24.02.2000. Beiträge zu Agrarwissenschaften, Bd. 19. Witterschlick/Bonn: M. Wehle, S. 69-71, ISBN 3-89573-101-3
- [25] EL BASSAM, N.; GREEF, J. M.; GÄBLER, G.; BACHER, W. (2000): 10-jährige Anbauversuche zu Miscanthus in Deutschland und der EU. In: PUDE, R. (Hrsg.): Miscanthus – vom Anbau bis zur Verwertung. Kurzfassung der Vorträge, Bonn, 23.-24.02.2000. Beiträge zu Agrarwissenschaften, Bd. 19. Witterschlick/Bonn: M. Wehle, S. 32-37, ISBN 3-89573-101-3
- [26] EPPHEL-HOTZ, A. (2002): Mulchstoffe - Materialien, Anwendung, Wirkung. Veitshöchheimer Berichte aus der Landespflege, Heft 63. Bayerische Landesanstalt für Weinbau und Gartenbau, S. 53-60

- [27] FREUDIGER, U. (2002): Interessengemeinschaft Miscanthus (IGM Schweiz). In: PUDE, R. (Hrsg.): Anbau und Verwertung von Miscanthus in Europa, 2. Internationale Miscanthus-Tagung. Kurzfassung der Vorträge, Bonn, 26.-28.08.2002. Beiträge zu Agrarwissenschaften, Bd. 26, 1. Aufl. Bad Neuenahr: P. Wehle, S. 80-82, ISBN 3-935307-12-8
- [28] FRÜHWIRTH, P.; GRAF, A.; HUMER, M.; HUNGER, F.; KÖPPL, H.; LIEBHARD, P.; THUMFART, K. (2006): Miscanthus sinensis "Giganteus" – Chinaschilf als nachwachsender Rohstoff. Landwirtschaftskammer Österreich und Ländliches Fortbildungsinstitut Österreich, Broschüre. Salzburg: Salzburger Druckerei, 72 Seiten, ISBN 3-902325-02-X
- [29] GALLIN-AST, H. (2002): NaWaRo C4 – Tiereinstreu aus Miscanthus. Poster von Electro-Farming GmbH. Großberghofen: Eigenverlag, 1 Seite
- [30] GREEF, J. M. (1995): Reservestoffwechsel. In: FACHAGENTUR NACHWACHSENDE ROHSTOFFE E.V. (Hrsg.): Symposium Miscanthus: Biomassebereitstellung, energetische und stoffliche Nutzung. Vorstellung der Ergebnisse aus dem BML/VEBA OEL AG-Verbundvorhaben, Dresden, 06.-07.12.1994. Schriftenreihe Nachwachsende Rohstoffe, Nr. 4. Münster: Landwirtschaftsverlag, S. 61-69, ISBN 3-7843-2745-1
- [31] GREEF, J. M. (1996): Etablierung und Biomassebildung von *Miscanthus x giganteus*. Habilitationsschrift, Universität Kiel. Göttingen: Cuvillier Verlag, 162 Seiten, ISBN 3-89588-439-1
- [32] Greef, J. M.; Deuter, M. (1993): Syntaxonomy of *Miscanthus x giganteus* Geef et Deu. Angewandte Botanik, Bd. 67, Nr. 3-4, S. 87-90
- [33] GRUNDLER, C. (2003): Mündliche Mitteilung. Freising
- [34] FORSCHUNGSZENTRUM FÜR UMWELT UND GESUNDHEIT (GSF) (2001): Miscanthus. Pressemitteilung, Neuherberg. URL: www.gsf.de/Aktuelles/Presse/miscanthus.phtml (Datum des Zugriffs: 14.01.2002)
- [35] HAASE, E. (1995): Die Mikrovermehrung von *Miscanthus giganteus*. In: FACHAGENTUR NACHWACHSENDE ROHSTOFFE E.V. (Hrsg.): Symposium Miscanthus: Biomassebereitstellung, energetische und stoffliche Nutzung. Vorstellung der Ergebnisse aus dem BML/VEBA OEL AG-Verbundvorhaben, Dresden, 06.-07.12.1994. Schriftenreihe Nachwachsende Rohstoffe, Nr. 4. Münster: Landwirtschaftsverlag, S. 31-34, ISBN 3-7843-2745-1
- [36] HARTMANN, H. (1998): Influences on the Quality of Solid Biofuels – Causes for Variations and Measures for Improvement. In: KOPETZ, H.; WEBER, T.; PALZ, W. (Hrsg.): Biomass for Energy and Industry, 10th European Conference and Technology Exhibition. Proceedings of the International Conference, Würzburg, 8-11 June 1998. Rimpar: C.A.R.M.E.N. e.V., S. 184-187
- [37] HARTMANN, H.; BÖHM, T.; MAIER, L. (2000): Naturbelassene biogene Festbrennstoffe – umweltrelevante Eigenschaften und Einflussmöglichkeiten. In: BAYERISCHES STAATSMINISTERIUM FÜR LANDESENTWICKLUNG UND UMWELTFRAGEN (Hrsg.): Umwelt und Entwicklung. Materialien, Nr. 154. München: Bayerisches Staatsministerium für Landesentwicklung und Umweltfragen, 155 Seiten
- [38] HARTMANN, H.; KALTSCHMITT, M. (2002): Techniken und Verfahren. In: HARTMANN, H.; KALTSCHMITT, M. (Hrsg.): Biomasse als erneuerbarer Energieträger. 2., vollst. neubearb. Auflage, Schriftenreihe Nachwachsende Rohstoffe Nr. 3. Münster: Landwirtschaftsverlag GmbH, S. 93-104, ISBN 3-7843-3197-1

- [39] HARTMANN, H.; REISINGER, K.; THUNEKE, K.; HÖLDRICH, A.; ROßMANN, P. (2007): Handbuch Bioenergie-Kleinanlagen. 2., vollst. überarb. Auflage, Gülzow: Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V., 224 Seiten, ISBN 3-00-011041-0
- [40] HESCH, R. (2000): Bau- und Dämmplatten sowie Schüttdämmung aus *Miscanthus x giganteus*. In: PUDE, R. (Hrsg.): *Miscanthus – vom Anbau bis zur Verwertung*. Kurzfassung der Vorträge, Bonn, 23.-24.02.2000. Beiträge zu Agrarwissenschaften, Bd. 19. Witterschlick/Bonn: M. Wehle, S. 63-67, ISBN 3-89573-101-3
- [41] HIMKEN, M.; LAMMEL, J.; NEUKIRCHEN, D.; CZYPIONKA-KRAUSE, U.; OLFS, H.-W. (1997): Cultivation of *Miscanthus* under West European conditions: Seasonal changes in dry matter production, nutrient uptake and remobilization. *Plant and Soil*, Bd. 189, Nr. 1, S. 117-126
- [42] HÖHN, H. (2002): Mineralisch gebundene Baustoffe – *Miscanthus*. In: PUDE, R. (Hrsg.): *Anbau und Verwertung von Miscanthus in Europa*, 2. Internationale *Miscanthus*-Tagung. Kurzfassung der Vorträge, Bonn, 26.-28.08.2002. Beiträge zu Agrarwissenschaften, Nr. 26, 1. Aufl. Bad Neuenahr: P. Wehle, S. 30-32, ISBN 3-935307-12-8
- [43] HOTZ, A.; KUHN, W. (1996): *Miscanthus – Rohstoff für Energie und Industrie*. *Forst und Holz*, Jg. 51, Nr. 5, S. 145-147
- [44] HOTZ, A.; KUHN, W.; JODL, S. (1996): Screening of different *Miscanthus* cultivars in respect of yield production and usability as a raw material for energy and industry. In: CHARTIER, P. (Ed.): *Biomass for Energy and the Environment*. Proceedings of the 9th European Bioenergy Conference, Copenhagen, Denmark, 24-27 June 1996. Oxford, UK: Pergamon Press, S. 523-527, ISBN 0 08 0428 495
- [45] HÜGI, K. (2002): *Miscanthus: Biologisch abbaubare Werkstoffe*. Positionspapier. Ins: *Inforama Seeland*, 4 Seiten
- [46] HUISMAN, W. (1997): *Miscanthus Handbook*. Comp. by HYPERION ENERGY SYSTEMS; contributed by W. Huisman. Wageningen: Wageningen Agricultural University, 225 Seiten
- [47] HUTH, H.-V. (2000): Bauphysikalische Untersuchungen an Dämmplatten aus *Miscanthus*. In: PUDE, R. (Hrsg.): *Miscanthus – vom Anbau bis zur Verwertung*. Kurzfassung der Vorträge, Bonn, 23.-24.02.2000. Beiträge zu Agrarwissenschaften, Bd. 19. Witterschlick/Bonn: M. Wehle, S. 68, ISBN 3-89573-101-3
- [48] HUTH, H.-V. (2002): Ermittlung bauphysikalischer und baustatistischer Eigenschaften von *Miscanthus*-Leichtbeton. In: PUDE, R. (Hrsg.): *Anbau und Verwertung von Miscanthus in Europa*, 2. Internationale *Miscanthus*-Tagung. Kurzfassung der Vorträge, Bonn, 26.-28.08.2002. Beiträge zu Agrarwissenschaften, Nr. 26, 1. Aufl. Bad Neuenahr: P. Wehle, S. 33-38, ISBN 3-935307-12-8
- [49] JEZOWSKI, S.; GLOWACKA, K. (2008): Selected gas exchange parameters and yielding of *Miscanthus* grasses. In PUDE, R. (Hrsg.): *Miscanthus – Netzwerke und Visionen*. Tagungsband der 5. Internationalen *Miscanthus*-Tagung vom 27. - 28. November 2008, Schweiz. Bonn: Universität Bonn-ILB Press, S. 46-51, ISBN 978-3-932887-95-6
- [50] JODL, S.; EPEL-HOTZ, A.; KUHN, W. (2004): *Miscanthus als Nachwachsender Rohstoff – Ergebnisse aus 20-jähriger Forschungsarbeit in Kurzfassung*. *Veitshöchheimer Berichte*, Heft 126. Veitshöchheim: Bayerische Landesanstalt für Weinbau und Gartenbau, 38 Seiten. ISSN 0944-8500

- [51] JODL, S.; HOTZ, A.; CHRISTIAN, D. G. (1996): Nutrient demand and translocation processes of miscanthus x giganteus. In: CHARTIER, P.; FERRERO, G. L.; HERIUS, U. M.; HULTBERG, S.; SACHAU, J.; WIINBLAD, M. (Eds.): Biomass for Energy and the Environment. Proceedings of the 9th European Bioenergy Conference, 24-27 June 1996, Copenhagen, Denmark. Oxford: Elsevier Science Ltd., S. 517-522, ISBN 0-08-0428-495
- [52] JOERGENSEN, U. (1995): Macro Propagation of Miscanthus. In: FACHAGENTUR NACHWACHSENDE ROHSTOFFE E.V. (Hrsg.): Symposium Miscanthus: Biomassebereitstellung, energetische und stoffliche Nutzung. Vorstellung der Ergebnisse aus dem BML/VEBA OEL AG-Verbundvorhaben, Dresden, 06.-07.12.1994. Schriftenreihe Nachwachsende Rohstoffe, Nr. 4. Münster: Landwirtschaftsverlag, S. 27-30, ISBN 3-7843-2745-1
- [53] JOHANNING, B.; WESCHE, H. (1993): Erntetechnik für Miscanthus. Landtechnik, Jg. 48, Nr. 5, S. 232-236
- [54] JONES, M.-B., WALSH, M. (2001): Miscanthus for Energy and Fibre. London: James & James, 192 Seiten, ISBN 1-902916-07-7
- [55] KAHLE, P.; BEUCH, S.; BOELCKE, B.; LEINWEBER, P.; SCHULTEN, H.-R. (2001): Cropping of Miscanthus in Central Europe: Biomass production and influence on nutrients and soil organic matter. European Journal of Agronomy, Bd. 15, Nr. 3, S. 171-184
- [56] KAINZ, C. (2002): Miscanthus. Unveröffentlichtes Manuskript, Vilsheim, 2 Seiten
- [57] KAISER, F.; GRONAUER, A. (2007): Methanproduktivität nachwachsender Rohstoffe in Biogasanlagen. LfL-Information. Freising: Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft, Institut für Landtechnik und Tierhaltung, 24 Seiten
- [58] KICHERER, A.; SPLIETHOFF, H.; HEIN, K.R.G.; LEWANDOWSKI, I.; EGHBAL, K.; KAHN, G. (1994): Große Erträge und hoher Ausbrand – Miscanthus-Feldversuche und Verbrennungseigenschaften. Energie, Bd. 46, Nr. 3, S. 33-41
- [59] KJELDSEN, J. B. (2001): Hinweise zur Pflanzmethode von Miscanthus in Dänemark. Manuskript. Foulum, Denmark: Research Centre Foulum, Ministry of Food, Agriculture and Fisheries, 5 Seiten
- [60] KOLB, W. (1993): Ertragsleistungen ausdauernder Gräserarten – Versuchsergebnisse aus Veitshöchheim. Veitshöchheimer Berichte aus der Landespflege, Jg. 1, Nr. 5, S. 17-23, ISSN 0944-8500
- [61] KOLB, W. (1993): Untersuchungen zur Leistungsfähigkeit ausdauernder Gräser für die Energie- und Rohstoffgewinnung. Veitshöchheimer Berichte aus der Landespflege, Jg. 1, Nr. 5, S. 5-16, ISSN 0944-8500
- [62] KOLB, W.; MÜNZER, W.; HOTZ, A. (1994): Nachwachsende Rohstoffe – C₄-Pflanzen in Bayern: Gemeinsamer Zwischenbericht 1994 zum Forschungsvorhaben. Würzburg: Bayerische Landesanstalt für Weinbau und Gartenbau und Freising-Weihenstephan: Bayerische Landesanstalt für Bodenkultur und Pflanzenbau, 18 Seiten
- [63] KRISTENSEN, E. F. (1997): Experiences from Miscanthus harvesting in Denmark. In: JOERGENSEN, U. (Hrsg.): Harvest and Other Mechanical Pretreatments of Lignocellulosic Energy Crops. Proceedings of the IEA Bioenergy Workshop at CLAAS, Harsewinkel, Nov. 1996. Foulum, Denmark: Danish Institute of Agricultural Sciences, S. 37-48
- [64] KUHN, W. (1993): Pflanzung, Ernte, Lagerung von Miscanthus – Erfahrungen aus der Praxis. Veitshöchheimer Berichte aus der Landespflege, Bd. 1, Nr. 5, S. 40-44

- [65] KUHN, W.; JODL, S. (2002): Alternative Deckung für Wildtiere. In: PUDE, R. (Hrsg.): Anbau und Verwertung von Miscanthus in Europa, 2. Internationale Miscanthus-Tagung. Kurzfassung der Vorträge, Bonn, 26.-28.08.2002. Beiträge zu Agrarwissenschaften, Nr. 26, 1. Aufl. Bad Neuenahr: P. Wehle, S. 26-29, ISBN 3-935307-12-8
- [66] KURSAWE, K. (2000): Zerkleinerungstechnik zur Aufbereitung von Miscanthus. In: PUDE, R. (Hrsg.): Miscanthus – vom Anbau bis zur Verwertung. Kurzfassung der Vorträge, Bonn, 23.-24.02.2000. Beiträge zu Agrarwissenschaften, Bd. 19. Witterschlick/Bonn: M. Wehle, S. 58-62, ISBN 3-89573-101-3
- [67] KURSAWE, K. (2002): Erfahrungen bei der Produktion des Kemberger Dämmsteins. In: PUDE, R. (Hrsg.): Anbau und Verwertung von Miscanthus in Europa, 2. Internationale Miscanthus-Tagung. Kurzfassung der Vorträge, Bonn, 26.-28.08.2002. Beiträge zu Agrarwissenschaften, Nr. 26, 1. Aufl. Bad Neuenahr: P. Wehle, S. 39-42, ISBN 3-935307-12-8
- [68] KURSAWE, K. (2006): Vorwand-Schallschutzelemente für das Verkehrswesen. In: PUDE, R. (Hrsg.): Miscanthus – Potentiale und Perspektiven – regionale und überregionale Anbau- und Verwertungskonzepte, 4. Internationale Miscanthus-Tagung. Tagungsband zur Tagung in Trier, 07.-08.11.2006. Bonn: Universitätsdruckerei der Rheinischen Friedrich-Wilhelms-Universität, S. 54-55, ISBN 978-3-932887-85-7
- [69] LARSEN, F.; FELLNER, H. (1992): Miscanthus sinensis „giganteus“. Informationsblatt. Silkeborg/Hirschau: Eigenverlag, 6 Seiten
- [70] LEWANDOWSKI, I. (1998): Propagation method as an important factor on the growth and development of Miscanthus x giganteus. Industrial Crops and Products, Bd. 8, Nr. 3, S. 229-245
- [71] LEWANDOWSKI, I. (2001): Energiepflanzenproduktion. In: KALTSCHMITT, M.; HARTMANN, H. (Hrsg.): Energie aus Biomasse: Grundlagen, Techniken und Verfahren. Berlin u. a.: Springer-Verlag, S. 57-93, ISBN 3-540-64853-4
- [72] LEWANDOWSKI, I.; CLIFTON-BROWN, J. C. (2000): Einflüsse auf die Beschaffenheit der Biomasse von Miscanthus. In: PUDE, R. (Hrsg.): Miscanthus – vom Anbau bis zur Verwertung. Kurzfassung der Vorträge, Bonn, 23.-24.02.2000. Beiträge zu Agrarwissenschaften, Bd. 19. Witterschlick/Bonn: M. Wehle, S. 53-57, ISBN 3-89573-101-3
- [73] LEWANDOWSKI, I.; HEINZ, A. (2003): Delayed harvest of miscanthus – influences on biomass quantity and quality and environmental impacts of energy production. European Journal of Agronomy, Bd. 19, Nr. 1, S. 45-63
- [74] LEWANDOWSKI, I.; KICHERER, A. (1997): Combustion quality of biomass: practical relevance and experiments to modify the biomass quality of Miscanthus x giganteus. European Journal of Agronomy, Bd. 6, Nr. 3-4, S. 163-177
- [75] LEWANDOWSKI, I.; SCURLOCK, J. M. O.; CHRISTOU, M. (2002): The Development and Current Status Quo of Production of Perennial Rhizomatous Grasses as Energy Crops in Europe and the United States. In: PALZ, W.; SPITZER, J.; MANIATIS, K. (Eds.): 12th European Biomass Conference: Biomass for energy, industry and climate protection. Proceedings of the International Conference, Amsterdam, The Netherlands, 17-21 June 2002. Vol. 1. Florenze: ETA Florence, S. 111-114, ISBN 88-900442-5-X
- [76] LEWANDOWSKI, I.; SCURLOCK, J. M. O.; LINDVALL, E.; CHRISTOU, M. (2003): The development and current status of perennial rhizomatous grasses as energy crops in the US and Europe. Biomass and Bioenergy, Bd. 25, Nr. 4, S. 335-361

- [77] LIEBHARD, P. (1992): Miscanthus sinensis – eine Pflanze zwischen Euphorie und Realität. In: WANDALLER-GEIBLER, S.; PUXKANDL-ULL, R.; SMOLINER, C.; PAULA, M. (Hrsg.): Arbeitstagung Riesenschilfgras (Miscanthus sinensis giganteus) – Standortbestimmung und Forschungspolitischer Ausblick. Tagungsbericht, Wien-Schwechat, 11.-12.03.1992. Wien: Eigenverlag, S. 16-32
- [78] LIEBHARD, P. (2002): Einfluss des Standortes auf den langjährigen Ertragsverlauf bei Miscanthus giganteus in klimatisch unterschiedlichen Ackerbauregionen in Österreich. In: PUDE, R. (Hrsg.): Anbau und Verwertung von Miscanthus in Europa, 2. Internationale Miscanthus-Tagung. Kurzfassung der Vorträge, Bonn, 26.-28.08.2002. Beiträge zu Agrarwissenschaften, Nr. 26, 1. Aufl. Bad Neuenahr: P. Wehle, S. 73-79, ISBN 3-935307-12-8
- [79] MAYR, R. (2000): Ernte-, Lagerungs- und Heizungstechnik bei Miscanthus in Österreich. In: PUDE, R. (Hrsg.): Miscanthus – vom Anbau bis zur Verwertung. Kurzfassung der Vorträge, Bonn, 23.-24.02.2000. Beiträge zu Agrarwissenschaften, Bd. 19. Witterschlick/Bonn: M. Wehle, S. 80-83, ISBN 3-89573-101-3
- [80] MAYR, R. (2003): Miscanthus giganteus: Chinaschilf, Riesenschilfgras (Elefantengras). Kurzinformation. Leonding, Österreich: Arbeitsgemeinschaft Miscanthus, 2 Seiten
- [81] MEIER, D. (2000): Verflüssigung von Miscanthus durch Flash-Pyrolyse. In: PUDE, R. (Hrsg.): Miscanthus – vom Anbau bis zur Verwertung. Kurzfassung der Vorträge, Bonn, 23.-24.02.2000. Beiträge zu Agrarwissenschaften, Bd. 19. Witterschlick/Bonn: M. Wehle, S. 75-79, ISBN 3-89573-101-3
- [82] MEYER, D. (2003): Unveröffentlichtes Manuskript. Hohenpeißenberg
- [83] MÖNDEL, A. (2008): Wirtschaftlichkeit des Anbaus von nachwachsenden Hölzern und Miscanthus. In: LANDWIRTSCHAFTLICHES TECHNOLOGIEZENTRUM AUGUSTENBERG (Hrsg.): Kurzumtriebshölzer und Miscanthus. Tagungsband zur Fachtagung „Kurzumtriebshölzer“ mit Maschinenvorführung, Rheinstetten-Forchheim, 28.-29.01.2008. Augustenberg: Landwirtschaftliches Technologiezentrum (LTZ), Kap. 5, S. 37-44
- [84] MÜLLER, V. (2002): Miscanthus. Flyer der Interessengemeinschaft Miscanthus (IGM). Ins, Schweiz: Eigenverlag
- [85] MÜNZER, W. (2000): Rhizompflanzen, eine Alternative? In: PUDE, R. (Hrsg.): Miscanthus – vom Anbau bis zur Verwertung. Kurzfassung der Vorträge, Bonn, 23.-24.02.2000. Beiträge zu Agrarwissenschaften, Bd. 19. Witterschlick/Bonn: M. Wehle, S. 15-19, ISBN 3-89573-101-3
- [86] MÜNZER, W. (2001): Prüfung verschiedener Anbauverfahren bei Miscanthus giganteus zur Verbesserung der Überwinterungsfähigkeit von Jungpflanzen sowie zur Kostensenkung von Bestandesgründungen – Abschlußbericht über das Forschungsvorhaben N/96/7. Freising-Weihenstephan: Bayerische Landesanstalt für Bodenkultur und Pflanzenbau, 40 Seiten
- [87] NUBSTEIN, R. (1999): Einsatz von Alkohol (LCB-Ethanol) als Wasserstoffspeicher für Brennstoffzellenantriebe in Kraftfahrzeugen. Internes Positionspapier. München: Eigenverlag, 7 Seiten
- [88] OBERNBERGER, J. (1998): Nutzung fester Biomasse in Verbrennungsanlagen unter besonderer Berücksichtigung des Verhaltens aschebildender Elemente. Schriftenreihe Thermischer Biomassenutzung, Bd. 1., 3. Aufl. Graz: Dbv-Verlag für die TU Graz, 350 Seiten, ISBN 370410244x

- [89] PARI, L. (1998): First Tests of an Arundo Donax (Giant Reed) Rhizomes Harvester. In: KOPETZ, H.; WEBER, T.; PALZ, W. (Eds.): Biomass for Energy and Industry, 10th European Conference and Technology Exhibition. Proceedings of the International Conference, Würzburg, 8-11 June 1998. Rimpf: C.A.R.M.E.N. e.V., S. 824-826
- [90] POMEROY, M. K.; ANDREWS, C. J. (1989): Low temperature injury in winter cereals. In: LI, P. H. (Ed): Low temperature stress physiology in crops. Florida: CRC Press, Boca Raton, S. 107-122, ISBN 0849365678
- [91] PRESTELE, H. (2003): Miscanthus (Chinaschilf) – eine Chance für die Landwirtschaft? In: C.A.R.M.E.N. e.V. (Hrsg.): Biomasse und Sonne – Energie und Naturstoffe. Tagungsband zum 11. C.A.R.M.E.N.-Symposium „Im Kreislauf der Natur – Naturstoffe für die moderne Gesellschaft“, Straubing, 26.-27.06.2003. 1. Aufl. Straubing: C.A.R.M.E.N. e.V., S. 137-142
- [92] PRESTELE, H.; SÖTZ, B. (2005): Rhizomvermehrung von Chinaschilf. In: TECHNOLOGIE-UND FÖRDERZENTRUM (Hrsg.): Jahresbericht 2003. Straubing: Eigenverlag TFZ, S. 47-54, ISSN 1614-1008
- [93] PUDE, R. (1997): Die Winterfestigkeit von Miscanthus in der Etablierungsphase – Dissertation Universität Bonn. Beiträge zu Agrarwissenschaften, Nr. 14. Witterschlick/Bonn: M. Wehle, 112 Seiten, ISBN 3-89573-037-8
- [94] PUDE, R. (2005): Bedeutung morphologischer, chemischer und physikalischer Parameter sowie ihre Interaktionen zur Beurteilung der Baustoffeignung unterschiedlicher Miscanthus-Herkünfte. Beiträge zu Agrarwissenschaften, Band 30, 1. Aufl. Bad Neuenahr: P. Wehle, 101 Seiten, ISBN 3-935307-30-6
- [95] PUDE, R. (2006): Eignung von Miscanthus-Mulch im Obstbau. In: PUDE, R. (Hrsg.): Miscanthus – Potentiale und Perspektiven – regionale und überregionale Anbau- und Verwertungskonzepte, 4. Internationale Miscanthus-Tagung. Tagungsband der Tagung in Trier, 07.-08.11.2006. Bonn: Universitätsdruckerei der Rheinischen Friedrich-Wilhelms-Universität, S. 39-43, ISBN 978-3-932887-85-7
- [96] PUDE, R.; JEZOWSKI, S. (2002): Etablierung von Miscanthus-Beständen in Polen mittels Rhizomvermehrung. In: PUDE, R. (Hrsg.): Anbau und Verwertung von Miscanthus in Europa, 2. Internationale Miscanthus-Tagung. Kurzfassung der Vorträge, Bonn, 26.-28.08.2002. Beiträge zu Agrarwissenschaften, Nr. 26, 1. Aufl. Bad Neuenahr: P. Wehle, S. 65-72, ISBN 3-935307-12-8
- [97] PUDE, R.; TRESELER, C.-H. (2004): Morphologische, chemische und technische Parameter unterschiedlicher Miscanthus-Herkünfte. In: PUDE, R. (Hrsg.): Anbau, Verwertung und Erfolgsaussichten von Miscanthus in Europa, 3. Internationale Miscanthus-Tagung. Kurzfassungen der Vorträge und Posterpräsentationen, Bonn, 02.-03.03.2004. Beiträge zu Agrarwissenschaft, Nr. 28. Bad Neuenahr: P. Wehle, S. 32-40, ISBN 3-935307-24-1
- [98] QUAS, M. (1995): Landtechnische Belastungen auf Miscanthus sowie verfahrenstechnische Lösungen zum Umbruch – Dissertation, Christian-Albrechts-Universität zu Kiel. Kiel: Institut für Landwirtschaftliche Verfahrenstechnik, 166 Seiten
- [99] RATHKE, G.-W.; FREYDANK, S.; DIEPENBROCK, W. (2004): Biomasseakkumulation von Miscanthus. In: KAUTER, D.; KÄMPF, A.; CLAUPEIN, W.; DIEPENBROCK, W. (Hrsg.): Effizienter Pflanzenbau für Nahrung und Rohstoffe im 21. Jahrhundert, 47. Jahrestagung vom 21. bis 23. September in Braunschweig. Mitteilung der Gesellschaft für Pflanzenbauwissenschaften, Bd. 16. Stuttgart: Verlag Günter Heimbrach, S.71-72, ISBN 3-935380-15-1

- [100] REINDERS, A.; PUDE, R. (2000): *Miscanthus x giganteus* – vom Anbau bis zur Verwertung. In: PUDE, R. (Hrsg.): *Miscanthus – vom Anbau bis zur Verwertung. Kurzfassung der Vorträge*, Bonn, 23.-24.02.2000. Beiträge zu Agrarwissenschaften, Bd. 19. Witterschlick/Bonn: M. Wehle, S. 111-112, ISBN 3-89573-101-3
- [101] RÖHRICHT, C. (2002): *Miscanthus* unter sächsischen Standortbedingungen. In: PUDE, R. (Hrsg.): *Anbau und Verwertung von Miscanthus in Europa*, Tagungsband der 2. Internationalen *Miscanthus*-Tagung, Bonn, 26.-28.08.2002. Beiträge zu Agrarwissenschaften, Bd. 26, S. 21-25. Bad Neuenahr-Ahrweiler: Verlag P. Wehle, ISBN 3-935307-12-8
- [102] RÖHRICHT, C.; KIESEWALTER, S.; GROß-OPHOFF, A. (2002): *Acker- und pflanzenbauliche Untersuchungen zum Anbau ein- und mehrjähriger Energiepflanzen im Freistaat Sachsen. Schriftenreihe der Sächsischen Landesanstalt für Landwirtschaft, Nr. 4*. Dresden: Eigenverlag SLL, 93 Seiten
- [103] RUPP, M. (1992): *Anbau und Nutzung von Miscanthus sinensis giganteus*. In: WANDALLER-GEIBLER, S.; PUXKANDL-ULL, R.; SMOLINER, C.; PAULA, M. (Hrsg.): *Arbeitstagung Riesenschilfgras (Miscanthus sinensis giganteus) – Standortbestimmung und Forschungspolitischer Ausblick. Tagungsbericht*, Wien-Schwechat, 11.-12.03.1992. Wien: Eigenverlag, S. 126-143
- [104] SANTOS OLIVEIRA, J. F. (2001): *Environmental aspects of Miscanthus production*. In: JONES, M. B.; WALSH, M. (Hrsg.): *Miscanthus for energy and fibre*. London: James & James, S. 172-178, ISBN 1-902916-07-7
- [105] SCHWAB, M. (2005): *Gasausbeute in landwirtschaftlichen Biogasanlagen*. Münster: KTBL-Heft, Nr. 50, 22 Seiten, ISBN 978-3-939371-17-5
- [106] SCHWARZ, K.-U.; GREEF, J. M.; SCHNUG, E. (1993): *Ertragsentwicklung, Energie- und CO₂-Fixierung bei ein- bis dreijährigen Beständen von Miscanthus x giganteus*. *Landbauforschung Völkenrode*, Jg. 43, Nr. 2/3, S. 64-72
- [107] SCHWARZ, K.-U.; GREEF, J. M.; SCHNUG, E. (1995): *Untersuchungen zur Etablierung und Biomassebildung von Miscanthus x giganteus unter verschiedenen Umweltbedingungen*. *Landbauforschung Völkenrode, Sonderheft 155*. Braunschweig-Völkenrode: FAL, 122 Seiten, ISSN 0376-0723
- [108] SCHWARZ, K.-U.; JOERGENSEN, U.; KJELDSSEN, J. B.; MÖLLER, F. (2000): *Miscanthus – Verwertung in Dänemark*. In: PUDE, R. (Hrsg.): *Miscanthus – vom Anbau bis zur Verwertung. Kurzfassung der Vorträge*, Bonn, 23.-24.02.2000. Beiträge zu Agrarwissenschaften, Bd. 19. Witterschlick/Bonn: M. Wehle, S. 84-88, ISBN 3-89573-101-3
- [109] SCHWARZ, K.-U.; MÖLLER, F.; JUNGE, R. (2004): *Dachdeckung und Sandwichplatten aus Miscanthus bzw. Triarrhena*. In: PUDE, R. (Hrsg.): *Anbau, Verwertung und Erfolgsaussichten von Miscanthus in Europa*, 3. Internationale *Miscanthus*-Tagung. Kurzfassungen der Vorträge und Posterpräsentationen, Bonn, 02.-03.03.2004. Beiträge zu Agrarwissenschaft, Nr. 28. Bad Neuenahr: P. Wehle, S. 66-69, ISBN 3-935307-24-1
- [110] SCHWARZ, K.-U.; SCHNUG, E. (1994): *Etablierung und Biomassebildung von Miscanthus x giganteus unter unterschiedlichen Umweltbedingungen – Standorttest*. In: FACHAGENTUR NACHWACHSENDE ROHSTOFFE (Hrsg.): *Symposium Miscanthus – Biomassebereitstellung, energetische und stoffliche Nutzung*, Dresden, 6.-7.12.1994. Schriftenreihe *Nachwachsende Rohstoffe*, Bd. 4. Münster: Landwirtschaftsverlag, S. 35-50, ISBN 3-7843-2745-1

- [111] SEMERE, R.; SLATER, F.M. (2007): Ground flora, small mammal and bird species diversity in miscanthus (*Miscanthus x giganteus*) and reed canary-grass (*Phalaris arundinacea*) fields. *Biomass and Bioenergy*, Bd. 31, Nr. 1, S. 20-29
- [112] SERAFIN, F.; AMMON, H.-U. (1995): Unkrautbekämpfung in Chinaschilf. *Die Grüne*, Bd. 6, Nr. 1, S. 2-3
- [113] STERGIOS, B. G.; HOWELL, G. S. (1973): Evaluation of viability tests for cold stressed plants. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, Nr. 98, S. 325-330
- [114] STICKSEL, E.; ROLLER, A. (2007): Hirse für Biogas anbauen? *Dlz-agrarmagazin*, Nr. 10, S. 24-27
- [115] STOLZENBURG, K. (1993): Erfahrungen der LAP Forchheim zur Problemstellung Auswinterung. In: C.A.R.M.E.N. e.V. (Hrsg.): Tagungsband zum Fachgespräch *Miscanthus*. Rimpfing: C.A.R.M.E.N. e.V., S. 80-87
- [116] STOLZENBURG, K. (2002): Chinaschilfhäcksel als Mulchsubstrat zur Bodenabdeckung. In: PUDE, R. (Hrsg.): *Anbau und Verwertung von Miscanthus in Europa*, 2. Internationale *Miscanthus*-Tagung. Kurzfassung der Vorträge, Bonn, 26.-28.08.2002. Beiträge zu Agrarwissenschaften, Nr. 26, 1. Aufl. Bad Neuenahr: P. Wehle, S. 43-47, ISBN 3-935307-12-8
- [117] TACK, F.; KIRSCHBAUM, H.-G. (1995): Verfahren und Technik der Lagerung von *Miscanthus*. In: *Symposium Miscanthus: Biomassebereitstellung, energetische und stoffliche Nutzung. Vorstellung der Ergebnisse aus dem BML/VEBA OEL AG-Verbundvorhaben*, Dresden, 06.-07.12.1994. Schriftenreihe *Nachwachsende Rohstoffe*, Nr. 4. Münster: Landwirtschaftsverlag, S. 129-141, ISBN 3-7843-2745-1
- [118] TECHNOLOGIE- UND FÖRDERZENTRUM (TFZ) (2007): *Anbauanleitung Chinaschilf (Miscanthus)*. URL: <http://www.tfz.bayern.de> (Stand: 09.2007), 3 Seiten
- [119] THIEMANN, R. (1995): *Produktionstechnik von Miscanthus*. In: *Symposium Miscanthus: Biomassebereitstellung, energetische und stoffliche Nutzung. Vorstellung der Ergebnisse aus dem BML/VEBA OEL AG-Verbundvorhaben*, Dresden, 06.-07.12.1994. Schriftenreihe *Nachwachsende Rohstoffe*, Nr. 4. Münster: Landwirtschaftsverlag, S. 103-111, ISBN 3-7843-2745-1
- [120] TUMANOV, I.; KRASAVTSEV, O. A. (1959): Hardening of northern woody plants by temperatures below zero. *Plant Physiology*, Nr. 6, S. 663-673
- [121] UELLEND AHL, H.; WANG, G.; MOELLER, H.; JOERGENSEN, U.; SKIADAS, I. V.; GAVALA, H. N.; AHRING, B. K. (2008): Energy balance and cost-benefit analysis of biogas production from perennial energy crops pretreated by wet oxidation. URL: www.carpa.it/media/documents/carpa_www/Progetti/Seq-Cure/Documentazione/Area-Riservata/Uellendahl_VADSWEC.pdf (Datum des Zugriffs: 31.10.2008)
- [122] VISSER, P.; PIGNATELLI, V.; JOERGENSEN, U.; SANTOS OLIVEIRA, J. F. (2001): Utilisation of *Miscanthus*. In: JONES, M. B.; WALSH, M. (Hrsg.): *Miscanthus for Energy and Fibre*. London: James & James, S. 109-154, ISBN 1-902916-07-7
- [123] WEINRICH, M. (2006): *Miscanthus – zu Schade zum Verbrennen*. In: PUDE, R. (Hrsg.): *Miscanthus – Potentiale und Perspektiven – Regionale und überregionale Anbau- und Verwertungskonzepte*, 4. Internationale *Miscanthus*-Tagung. Tagungsband der Tagung in Trier, 07.-08.11.2006. Bonn: Universitätsdruckerei der Rheinischen Friedrich-Wilhelms-Universität, S. 56-59, ISBN 978-3-932887-85-7

-
- [124] WERNER, I. (1995): Umweltaspekte im Miscanthusanbau – Wurzeluntersuchungen, phytosanitäre Untersuchungen und Untersaaten. In: Symposium Miscanthus: Biomassebereitstellung, energetische und stoffliche Nutzung. Vorstellung der Ergebnisse aus dem BML/VEBA OEL AG-Verbundvorhaben, Dresden, 06.-07.12.1994. Schriftenreihe Nachwachsende Rohstoffe, Nr. 4. Münster: Landwirtschaftsverlag, S. 87-101, ISBN 3-7843-2745-1
- [125] WERNER, A.; VETTER, A. (2005): Optimierung des Energieholzanbaus. In: THÜRINGER LANDESANSTALT FÜR LANDWIRTSCHAFT (TLL) (Hrsg.): Öl-, Energie- und Industriepflanzen – Kurzberichte und Projekte – 2005. Dornburg: Eigenverlag TLL, S. 6-8
- [126] WILKINS, C.; REDSTONE, S. (1996): Biomass production for energy and industry in the far South-West of England. In: CHARTIER, P.; FERRERO, G. L.; HERIUS, U. M.; HULTBERG, S.; SACHAU, J.; WIINBLAD, M. (Eds.): Biomass for Energy and the Environment. Proceedings of the 9th European Bioenergy Conference, Copenhagen, Denmark, 24-27 June 1996. Oxford: Elsevier Science, S. 799-806, ISBN 0-08-0428-495

Berichte im Rahmen dieser Schriftenreihe

Berichte aus dem TFZ:

1	Qualitätssicherung bei der dezentralen Pflanzenölerzeugung für den Nicht-Nahrungsbereich Projektphase 1: Erhebung der Ölqualität und Umfrage in der Praxis
2	Erprobung der Brennwerttechnik bei häuslichen Holzhackschnitzelheizungen mit Sekundärwärmetauscher
3	Daten und Fakten zur dezentralen Ölgewinnung in Deutschland
4	Untersuchungen zum Feinstaubausstoß von Holzzentralheizungsanlagen kleiner Leistung
5	Qualität von kaltgepresstem Rapsöl als Speiseöl und Festlegung eines Qualitätsstandards
6	Entwicklung einer Prüfmethode zur Bestimmung der Cetanzahl von Rapsölkraftstoff
7	Untersuchung der Wechselwirkungen zwischen Rapsöl als Kraftstoff und dem Motorenöl in pflanzenöлтаuglichen Motoren
8	Wärmegewinnung aus Biomasse – Begleitmaterialien zur Informationsveranstaltung
9	Maize as Energy Crop for Combustion - Agricultural Optimisation of Fuel Supply
10	Staubemissionen aus Holzfeuerungen – Einflussfaktoren und Bestimmungsmethoden
11	Rationelle Scheitholzbereitstellungsverfahren
12	Qualitätssicherung bei der dezentralen Pflanzenölerzeugung für den Nicht-Nahrungsbereich Technologische Untersuchungen und Erarbeitung von Qualitätssicherungsmaßnahmen
13	Getreidekörner als Brennstoff für Kleinf Feuerungen - Technische Möglichkeiten und Umwelteffekte –
14	Mutagenität der Partikelemissionen eines mit Rapsöl- und Dieselmotoren betriebenen Traktors
15	Befragung von Betreibern dezentraler Ölsaatenverarbeitungsanlagen
16	Schnellbestimmung des Wassergehaltes im Holzsplit
17	Untersuchungen zum Einsatz rapsölbetriebener Traktoren beim Lehr-, Versuchs- und Fachzentrum für Ökologischen Landbau und Tierhaltung Kringell -
18	Miscanthus als nachwachsender Rohstoff – Ergebnisse aus bayerischen Forschungsarbeiten –
19	Miscanthus: Anbau und Nutzung - Informationen für die Praxis -

